UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

OTÁVIO AUGUSTO DELLAY SECCO

# Desenvolvimento e Avaliação de um Ambiente de Realidade Virtual para Treinamento de Atletas de Futebol

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Profª. Drª. Luciana Nedel

Porto Alegre
2026

**CIP — CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO**

Secco, Otávio Augusto Dellay

Desenvolvimento e Avaliação de um Ambiente de Realidade Virtual para Treinamento de Atletas de Futebol / Otávio Augusto Dellay Secco. – Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2026.

154 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR–RS, 2026. Orientador: Luciana Nedel.

1. Futebol. 2. Visualização Imersiva. 3. Realidade Virtual. 4. Treinamento de Futebol. I. Nedel, Luciana. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Reitora: Profª. Marcia Cristina Bernardes Barbosa
Vice-Reitor: Prof. Pedro de Almeida Costa
Pró-Reitora de Pós-Graduação: Profª. Claudia Wasserman
Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luciano Paschoal Gaspary
Coordenador do PPGC: Prof. Gabriel Luca Nazar
Bibliotecário-chefe do Instituto de Informática: Alexsander Borges Ribeiro

*"Fair shall the end be, though long and hard shall be the road!"*

— J.R.R. TOLKIEN

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar durante essa caminhada, colocando as pessoas certas no meu caminho, me dando forças para sempre seguir em frente. À minha auxiliar técnica, revisora, companheira e mais-do-que-melhor amiga, Jéssica, que, desde o princípio, esteve do meu lado. Você me inspira diariamente. Aos meus pais, Fábio e Rose, que, por mais de vinte anos, deram-me toda a estrutura, amor, carinho e apoio para que hoje eu pudesse trilhar o meu caminho.

Aos meus orientadores, Luciana, por sua inesgotável fonte de paciência, que me guiou sem poupar esforços durante a dissertação. Agradeço imensamente. E ao Carlos, por sua incrível capacidade de sempre saber e falar o que eu precisava ouvir, com seus conselhos, disposição e gentileza. Espero que um dia consiga aconselhar alguém da mesma forma que você faz.

Aos meus padrinhos, Aline e Fernando, que, desde o primeiro dia, apoiaram minha escolha, sempre se mostrando presentes, por mais que estivessem fisicamente distantes. Vocês nunca deixaram que eu me sentisse sozinho. Maila, obrigado por tudo nesses últimos meses. Sua chegada na trajetória final do mestrado foi fundamental para que eu chegasse com êxito até aqui.

Jefferson, obrigado pela gentileza e pela disposição para me ajudar, o que tornou possível concluir essa dissertação da melhor forma. Brazil Football Club e SIAPERGS, que, de forma mais do que gentil, cederam seu tempo para realizar os testes finais da dissertação.

Aos meus colegas, em especial, Nicolas, Matheus T., Renan, Matheus N., Jerson, Time da FiveC, Leonardo e Lucas, agradeço por todas as manhãs, tardes, noites e madrugadas, me incentivando a estudar e colocar essa dissertação no papel.

Agradeço também à Lurdes A. Pontel, da Biblioteca Central Cesar Lattes, Unicamp, pelo envio do capítulo do livro *Virtual Environments and Their Role in Developing Perceptual-Cognitive Skills in Sports*.

## RESUMO

A realidade virtual (RV) se destaca por sua capacidade de simular ambientes reais que reproduzem sensações e percepções do mundo real. Essa característica encoraja o uso da RV para a visualização de dados capturados do mundo real, como dados de captura de movimento, por exemplo, que estão se tornando comuns em áreas como a análise de desempenho esportivo. No futebol, em especial, é possível observar um aumento significativo na captura e na análise de dados, sempre em busca de novas formas de compreender e aprimorar o desempenho dos atletas. Uma das formas de uso de simuladores imersivos no treinamento é por meio do VR360, que permite ao jogador, com base em um vídeo capturado em 360°, olhar ao seu redor e realizar estudos e análises de jogadas e de situações ocorridas no mundo real de forma imersiva.

Dentro deste cenário, o presente trabalho consiste em (1) analisar as técnicas necessárias para a construção de um ambiente de RV dedicado ao treinamento de atletas e (2) avaliar a eficácia do treinamento neste tipo de ambiente. A partir destes objetivos, foi desenvolvida uma ferramenta capaz de ler dados de captura de movimento e renderizá-los dentro de um ambiente imersivo, buscando verificar a sua aplicabilidade tanto para o treinamento de atletas quanto para a visualização de dados.

A ferramenta passou por um processo iterativo de desenvolvimento, no qual foram avaliadas quais técnicas de visualização e interação seriam mais adequadas para o treinamento de atletas. Os testes foram realizados com públicos de diferentes níveis de experiência: universitários, atletas profissionais e atletas sub-16, com o objetivo de avaliar sua aplicabilidade tanto para o treinamento de atletas quanto para a visualização de dados. Os testes consistem em: (1) cenários de movimentação, que foram desenvolvidos para avaliar a capacidade dos grupos de se movimentar em uma situação real de jogo; (2) os cenários de passe para avaliar a tomada de decisão dos usuários; e (3) um cenário de visualização que permitiu ao usuário utilizar a ferramenta para visualizar os dados da forma que mais lhe agradasse.

Os resultados indicaram que: (1) nos testes de movimentação, o grupo de universitários desempenhou melhor do que os demais grupos; (2) nos testes de tomada de decisão, os profissionais se sobressaíram; e (3) nos testes livres, o feedback foi responsável por guiar a criação de casos de uso que encontraram novos propósitos para a ferramenta. Além disso, devido à alta velocidade de movimento e à baixa familiaridade com tecnologias imersivas, os grupos de atletas profissionais e sub-16 acabaram por apresentar mais sintomas de

cybersickness, o que implicou uma aceitação mista quando questionados sobre o uso de uma ferramenta semelhante no seu treinamento diário. Apesar disso, o público-alvo desta pesquisa apontou que a principal forma de aprimorar a tomada de decisão é jogar e, assim, ferramentas que auxiliam esse processo contribuem para o aperfeiçoamento.
**Palavras-chave:** Futebol. Visualização Imersiva. Realidade Virtual. Treinamento de Futebol.

## ABSTRACT

Virtual Reality (VR) is distinguished by its ability to simulate real environments that replicate sensations and perceptions of the real world. This characteristic encourages the use of VR for visualizing data captured from the real world, such as motion capture data, for example, which is becoming increasingly common in areas like sports performance analysis. In soccer, specifically, a significant increase in data capture and analysis can be observed, as athletes continually seek new ways to enhance their understanding and improve their performance. One of the ways immersive simulators have been applied to training is through the use of VR360, which allows the player, based on a 360° captured video, to look around and perform studies and analyses of plays and situations that occurred in the real world in an immersive way.

Within this scenario, the present work consists of (1) analyzing the techniques necessary for the construction of a VR environment dedicated to athlete training and (2) preliminarily evaluating the effectiveness of training in this type of environment. Based on these objectives, a tool was developed that can read motion capture data and render it within an immersive environment, aiming to verify its applicability for both athlete training and data visualization.

The tool experienced an iterative development process, in which the visualization and interaction techniques most suitable for athlete training were evaluated. Tests were conducted with audiences possessing different levels of experience: university students, professional athletes, and under-16 athletes, with the objective of verifying its potential applicability for both athlete training and data visualization. The tests consisted of: (1) movement scenarios, developed to evaluate the group's capacity to move in a real game situation; (2) passing scenarios to evaluate the user's decision-making; and (3) a visualization scenario that allowed the user to use the tool to visualize data in their preferred manner.

The results indicated that: (1) in the movement tests, the university student group performed better than the other groups; (2) in the decision-making tests, the professionals excelled; and (3) in the free tests, feedback was responsible for guiding the creation of use cases that found new purposes for the tool. Furthermore, due to the high speed of movement and low familiarity with immersive technologies, the professional and under-16 athlete groups experienced greater symptoms of cybersickness, which implied mixed acceptance when asked if they would use a similar tool in their daily training. Despite

this, the target audience of this research emphasized that the primary way to improve decision-making is through play, and thus, tools that aid this process contribute to its enhancement.

**Keywords:** Soccer. Immersive Visualization. Virtual Reality. Soccer Training.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| SUS | System Usability Scale |
| HMD | Head Mounted Display |
| AR | Realidade Aumentada |
| RV | Realidade Virtual |
| 3D | Tridimensional |
| Mocap | Motion Capture |
| SSQ | Simulator Sickness Questionarie |
| TLX | Task Load Index |
| ISV | Immersive Soccer Visualizer |
| RV-SGs | Jogos sérios em realidade virtual |
| xG | Gols Previstos |
| xGoT | Gols Previstos no Alvo |
| PSxG | Gols Previstos Pós-Chute |

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura da revisão bibliográfica ilustrando como os tópicos se conectam. 20

Figura 2.1 Ações com bola e suas respectivas descrições e formas visuais de representação. ..... 26
Figura 2.2 Exemplo de visualização de sequências de passes. ..... 27
Figura 2.3 Mapa de passes e finalizações de uma partida de futebol. As linhas pretas representam passes e as linhas vermelhas representam finalizações. ..... 28
Figura 2.4 Mapa de calor dos valores de xG. As zonas mais quentes do mapa de calor representam maior probabilidade de uma finalização resultar em gol. ..... 29
Figura 2.5 Mapa de passes de uma partida de futebol. Os círculos azuis representam as posições iniciais dos passes; a direção e o comprimento são indicados pela seta. ..... 30
Figura 2.6 Exemplo do grafo de rede de passes de uma partida de futebol. Cada nó representa a posição média de envolvimento dos passes de um jogador. O seu raio está relacionado ao volume de passes participados. Cada aresta é conectada aos companheiros de equipe, e sua espessura é determinada pelo volume de passes trocados entre esses jogadores. ..... 31
Figura 2.7 Mimic dV-Trainer (MdVT). Um simulador imersivo para cirurgias. ..... 32
Figura 2.8 Execução de testes imersivos de basquete utilizando *VR 360*. A imagem da esquerda ilustra o usuário utilizando o simulador, enquanto a da direita representa a sua visão durante os testes. ..... 33

Figura 3.1 Mapeamento dos botões nos controles Meta Quest 3. Os textos e indicadores aparecendo na imagem estão ilustrados da mesma forma que são representados na cena. ..... 39
Figura 3.2 Modelos de jogador renderizados. A cor é dada com base no time; o círculo na base ajuda na identificação em distâncias mais longas. O número da camiseta está acima do modelo e segue a sua movimentação, sempre rotacionado para ficar de frente à câmera do usuário. ..... 42
Figura 3.3 Renderização inicial do campo com os jogadores. ..... 42
Figura 3.4 Modelo do estádio adicionado na cena. ..... 43
Figura 3.5 Renderização da final da cena com o estádio. A linha amarela representa a trajetória da bola. Os jogadores estão coloridos com base no seu clube. Em amarelo, próximo da bola, está o árbitro. ..... 44
Figura 3.6 Implementação da linha de impedimento. É possível ver a posição do ombro direito do jogador marcada como último membro legal, enquanto a linha fica paralela ao campo. ..... 45
Figura 3.7 Versão do grafo de passes implementado. Cada aresta representa a posição média entre os jogadores envolvidos nos passes. A espessura é dada com base no volume de passes trocados entre os jogadores. ..... 47
Figura 3.8 Versão das setas de passe implementada. Cada seta representa a trajetória do passe, do seu ponto inicial ao final. ..... 47
Figura 3.9 Renderização do mapa de calor do goleiro do time vermelho. Os pontos mais verdes representam os de maior presença. ..... 48

Figura 4.1 Gráfico da curva do protocolo do SUS. No eixo X estão representadas as categorias em que a aplicação se enquadra. ..... 58

Figura 4.2 Canvas desenvolvido para exibir mensagens aos usuários. A figura representa a visão do usuário durante a exibição de uma mensagem. .....61
Figura 4.3 Cenário de tomada de decisão 0: visão ampla do início do cenário, mostrando todos os jogadores envolvidos. A seta amarela indica a trajetória da bola; a seta azul indica a movimentação do jogador 66, do qual o usuário observa o ponto de vista.....62
Figura 4.4 Cenário de tomada de decisão 0: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....62
Figura 4.5 Cenário de tomada de decisão 0: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....63
Figura 4.6 Cenário de tomada de decisão 1: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....64
Figura 4.7 Cenário de tomada de decisão 1: Ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....65
Figura 4.8 Cenário de tomada de decisão 2: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....66
Figura 4.9 Cenário de tomada de decisão 2: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....67
Figura 4.10 Cenário de tomada de decisão 3: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....68
Figura 4.11 Cenário de tomada de decisão 3: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....69
Figura 4.12 Cenário de tomada de decisão 4: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....70
Figura 4.13 Cenário de tomada de decisão 4: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....71
Figura 4.14 Cenário de tomada de decisão 5: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.....71
Figura 4.15 Cenário de tomada de decisão 5: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.....72
Figura 4.16 Treinamento pré-cenários de movimentação. O canvas no centro da tela possui as instruções do usuário. Ao fundo, é possível ver um indicador com texto para facilitar a compreensão da tarefa.....72
Figura 4.17 Cenário de movimentação 1: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do jogador vermelho mostrado no centro da imagem. .....73
Figura 4.18 Cenário de movimentação 1: visão em primeira pessoa. .....73
Figura 4.19 Cenário de movimentação 2: posição inicial dos jogadores com setas indicando as movimentações para aplicar pressão no time adversário. As setas verdes indicam o encaixe ideal da marcação de pressão; dessa forma, todos os jogadores vermelhos próximos da bola (quadrado amarelo) estariam com suas linhas de passe obstruídas. .....74
Figura 4.20 Cenário de movimentação 2: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do número 10 do time azul.....74
Figura 4.21 Cenário de movimentação 2: visão em primeira pessoa. .....75

Figura 4.22 Cenário de movimentação 3: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do segundo jogador vermelho da esquerda para a direita, próximo ao meio-campo. ..... 75
Figura 4.23 Cenário de movimentação 3: visão em primeira pessoa. ..... 76

Figura 5.1 Experimento principal: resultado do protocolo SUS em comparação com a referência. ..... 78
Figura 5.2 Experimento principal: resultado do SSQ dividido em suas categorias. ..... 78
Figura 5.3 Experimento principal: resultado do TLX dividido por grupos. ..... 79
Figura 5.4 Experimento principal: resultado do TLX entre universitários e profissionais. ..... 79
Figura 5.5 Cenário de movimentação 1: clusters sobrepostos. Esta imagem destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários, Sub-16 e Profissionais. Ao redor desses grupos, traz-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Percebe-se nela que os grupos Profissionais e Universitários envolveram a movimentação do jogador real, enquanto o Sub-16 não conseguiu. ..... 83
Figura 5.6 Cenário de movimentação 1: traçado das movimentações dos usuários com as posições finais dos jogadores reais. ..... 84
Figura 5.7 Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo de profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 84
Figura 5.8 Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo de universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 85
Figura 5.9 Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo dos Sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 85
Figura 5.10 Cenário de movimentação 2: posição final dos jogadores com as trajetórias dos usuários. As trajetórias iniciam no pequeno quadrado verde no canto inferior direito da figura. ..... 86
Figura 5.11 Cenário de movimentação 2: clusters sobrepostos. Esta figura destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários (vermelho), Sub-16 (azul) e Profissionais (amarelo). Ao redor desses grupos, traçou-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Assim, é possível observar uma dispersão entre os grupos: os universitários tiveram uma maior hegemonia na movimentação, seguidos pelos profissionais que tiveram uma variação maior e pelo Sub-16, que demonstrou maior inconsistência entre os grupos. ..... 87
Figura 5.12 Cenário de movimentação 2: Agrupamento dos usuários por estratégia adotada ao longo da jogada. O grupo azul representa os 11 usuários que tiveram um comportamento similar ao do jogador real. O grupo roxo representa os 3 usuários que pressionaram o jogador 5. O grupo verde representa os 5 usuários que pressionaram o jogador 8 e depois tiveram alguma dificuldade em corrigir a trajetória. O grupo vermelho é composto por 5 usuários que mantiveram a posição e não pressionaram nenhum jogador específico. ..... 88
Figura 5.13 Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 89

Figura 5.14 Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo de universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 89
Figura 5.15 Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo Sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 90
Figura 5.16 Cenário de movimentação 3: traçado das movimentações dos usuários com as posições finais dos jogadores reais. É possível observar nessa imagem que nenhum dos usuários ficou em posição de impedimento ao final da jogada. O único que esteve, o azul segundo mais distante da bola, corrigiu a sua posição para ficar regular. ..... 90
Figura 5.17 Cenário de movimentação 3: clusters sobrepostos. Esta imagem destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários (vermelho), Sub-16 (azul) e Profissionais (amarelo). Ao redor desses grupos, traçou-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Assim, é possível observar que todos os grupos tiveram a compreensão de como se movimentar na jogada, com alguns grupos variando a sua posição final, mas ainda assim conseguindo ter boa leitura da mesma. ..... 91
Figura 5.18 Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 92
Figura 5.19 Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo dos universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 92
Figura 5.20 Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo dos sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola. ..... 93
Figura 5.21 Cenários de tomada de decisão: classificação final ordenada pela pontuação. A nota máxima é 20. Na esquerda é possível ver qual o grupo do usuário. ..... 94
Figura 5.22 Cenários de tomada de decisão: classificação final ordenada por grupos. ..95

Figura 6.1 Versão final dos modelos dos jogadores, renderizado com a base identificando o time e o número identificando a camiseta. Os goleiros receberam cores distintas para facilitar a diferenciação. ..... 108

Figura D.1 Cenário utilizado para testar a movimentação do usuário. O usuário assume o papel do jogador vermelho número 5 (mostrado no centro da imagem); o passe é executado pelo jogador 26 azul. ..... 129
Figura D.2 Resultados da movimentação em contraste com a real (cor vermelha). A quanto mais espessa a linha, mais recente a movimentação. ..... 131

Figura E.1 Imagem feita com o intuito de servir como tutorial, ela apresenta todos os comandos e as combinações possíveis. ..... 142
Figura E.2 Imagem de tutorial aplicada na cena, para que o usuário pudesse olhar. .... 143
Figura E.3 Atualização dos modelos dos jogadores, com base nas sugestões recebidas nos testes para facilitar a identificação. ..... 143

Figura F.1 Mapeamento dos botões nos controles. ..... 148
Figura F.2 Funcionalidades do sistema sendo apresentadas nos controles. ..... 149

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Subdivisões de fidelidade baseadas na literatura. ..... 35

Tabela 3.1 Exemplo de registro de movimentação do usuário. ..... 50
Tabela 3.2 Exemplo de registro de comandos do usuário. ..... 52

Tabela 4.1 Variáveis dependentes coletadas nos testes. ..... 55
Tabela 4.2 Variáveis independentes consideradas. ..... 55

Tabela 5.1 Experimento principal: resultado do protocolo SUS. ..... 77
Tabela 5.2 Experimento principal: legenda das perguntas da Figura 5.3. ..... 80
Tabela 5.3 Experimento principal: respostas da pesquisa por grupo de participantes. Tabela com as respostas das questões objetivas. As colunas cor e número são para a identificação e controle dos usuários. ..... 81
Tabela 5.4 Respostas dos participantes à pergunta opcional de comentários adicionais. 82
Tabela 5.5 Resultados detalhados da interação entre os participantes. A tabela apresenta os dados de interação dos participantes com o ambiente virtual. As colunas 'Grupo', 'Num' e 'Cor' são para identificação. O tempo total registrado é de 90 segundos, exceto onde a coluna 'Tempo Campo (s)' indica um valor diferente de 0. ..... 96

Tabela D.1 Correlação entre variáveis (sem e com offset a partir do 50º quadro). ..... 134

Tabela E.1 Resultados sumarizados do questionário ..... 137

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 17**
**1.1 Motivação ..... 18**
**1.2 Objetivos ..... 19**
**1.3 Organização ..... 19**
**2 TRABALHOS RELACIONADOS ..... 22**
**2.1 Por que Utilizar a Realidade Virtual ..... 22**
**2.2 Análise Imersiva ..... 24**
**2.3 Visualização de Dados de Futebol ..... 25**
**2.4 Aplicação da Realidade Virtual Em Treinamentos ..... 29**
2.4.1 A Realidade Virtual no Treinamento de Atletas ..... 31
2.4.2 Utilização de Dados de Captura de Movimento ..... 34
**2.5 Validação de Simuladores Imersivos Aplicados em Treinamento ..... 34**
2.5.1 Validade ..... 34
2.5.2 Fidelidade ..... 35
2.5.3 Transferibilidade ..... 35
**3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA ..... 37**
**3.1 Decisões de Projeto ..... 38**
**3.2 Funcionalidades ..... 38**
**3.3 Detalhes de Implementação ..... 39**
3.3.1 Leitura e Estrutura dos Dados ..... 40
3.3.2 Renderização da Cena ..... 42
3.3.3 Implementação da Linha de Impedimento ..... 43
3.3.4 Identificação de Toques e Passes ..... 44
3.3.5 Implementação do Mapa de Passes ..... 46
3.3.6 Implementação do Mapa de Calor ..... 46
3.3.7 Implementação da Visualização do Ponto de Vista ..... 48
3.3.8 Registro de Ações do Usuário ..... 50
**4 PROTOCOLO DE TESTES ..... 53**
**4.1 Hipóteses ..... 54**
**4.2 Materiais e Métodos ..... 56**
**4.3 Condições Experimentais e Aparelhagem ..... 56**
**4.4 Participantes ..... 56**
**4.5 Instrumentos de Medida ..... 57**
4.5.1 Desconforto e Enjoo ..... 57
4.5.2 Usabilidade do Sistema ..... 57
4.5.3 Carga de Trabalho ..... 58
4.5.4 Movimentação e Ações do Usuário ..... 59
**4.6 Descrição das Tarefas ..... 59**
4.6.1 Ordem de Aplicação dos Testes ..... 59
4.6.2 Pré-Cenários de Passe ..... 60
4.6.3 Cenários de Passe ..... 60
4.6.4 Pré-Cenário de movimentação ..... 65
4.6.5 Cenários de Movimentação ..... 65
4.6.6 Cenário de Visualização ..... 70
**5 RESULTADOS ..... 77**
**5.1 Formulários de Avaliação da Aplicação dos Testes ..... 77**
**5.2 Treinamento ..... 80**
5.2.1 Cenário de Movimentação 1 ..... 80

5.2.2 Cenário de Movimentação 2 ..... 83
5.2.3 Cenário de Movimentação 3 ..... 87
5.2.4 Cenários de Tomada de Decisão ..... 93
**5.3 Visualização ..... 95**
5.3.1 Apresentação dos Resultados ..... 95
5.3.2 Casos de Uso ..... 96
**6 DISCUSSÃO ..... 99**
**6.1 Sobre os Resultados dos Testes ..... 99**
6.1.1 Observações Sobre as Hipóteses ..... 99
6.1.2 Sobre os Indícios da Eficácia do Treinamento ..... 102
6.1.3 Sobre a Adesão e Aceitabilidade ..... 103
6.1.4 Sobre os Testes de Tomada de Decisão ..... 104
6.1.5 Sobre os Testes de Movimentação ..... 105
**6.2 Sobre a Obtenção e Replicação dos Dados ..... 106**
**6.3 Sobre a Validade e Fidelidade da Ferramenta ..... 107**
6.3.1 Fidelidade Física ..... 107
6.3.2 Fidelidade Afetiva ..... 108
6.3.3 Fidelidade Biomecânica ..... 109
6.3.4 Fidelidade Psicológica ..... 109
6.3.5 Validade da Ferramenta ..... 109
**6.4 Sobre o Cybersickness ..... 110**
**6.5 Aspectos que contribuíram para o sucesso da aplicação ..... 112**
6.5.1 Visão da Arquibancada ..... 112
6.5.2 Visualização em Primeira Pessoa ..... 112
**6.6 Aspectos que não contribuíram para o sucesso da ferramenta ..... 113**
6.6.1 Mapa de Passes e Rede de Passes ..... 113
6.6.2 Controles e Tutoriais ..... 114
**7 CONCLUSÕES ..... 116**
**7.1 Contribuições ..... 117**
**7.2 Trabalhos Futuros ..... 117**
**REFERÊNCIAS ..... 119**
**APÊNDICE A — SOBRE O USO DE IA E LLMS NA ESCRITA DO TEXTO ..... 124**
**APÊNDICE B — RENDERIZAÇÃO DOS JOGADORES ..... 125**
**APÊNDICE C — OUTRAS VISUALIZAÇÕES DE PONTO DE VISTA ..... 126**
**APÊNDICE D — SESSÃO DE VALIDAÇÃO I - TESTE DO CENÁRIO DE MOVIMENTAÇÃO ..... 128**
**D.1 Hipóteses ..... 128**
**D.2 Materiais e Métodos ..... 128**
D.2.1 Condições Experimentais e Aparelhagem ..... 129
D.2.2 Participantes ..... 129
D.2.3 Procedimentos ..... 130
**D.3 Resultados ..... 131**
**D.4 Discussão ..... 132**
**APÊNDICE E — SESSÃO DE VALIDAÇÃO II - TESTE DO CENÁRIO DE TOMADA DE DECISÃO ..... 135**
**E.1 Hipóteses ..... 135**
**E.2 Materiais e Métodos ..... 135**
E.2.1 Condições Experimentais e Aparelhagem ..... 135
E.2.2 Participantes ..... 136
E.2.3 Procedimentos ..... 136
**E.3 Resultados ..... 137**

**E.4 Discussão ..... 137**
E.4.1 Elaboração e Pré-Execução dos Testes ..... 137
E.4.2 Resultados das Entrevistas ..... 138
E.4.3 Pós-Execução dos Testes ..... 141
**APÊNDICE F — SESSÃO DE VALIDAÇÃO III - SESSÃO DE VALIDAÇÃO FINAL ..... 144**
**F.1 Materiais e Métodos ..... 144**
F.1.1 Condições Experimentais e Aparelhagem ..... 144
F.1.2 Participantes ..... 145
F.1.3 Procedimentos ..... 145
**F.2 Resultados ..... 146**
F.2.1 Feedback sobre Usabilidade ..... 146
F.2.2 Feedback sobre Textos ..... 147
F.2.3 Feedback sobre o Cenário de tomada de decisão ..... 147
**F.3 Discussão ..... 148**
F.3.1 Ajuda ao Usuário ..... 148
**APÊNDICE G — IMAGENS DAS APLICAÇÕES DOS TESTES ..... 150**

# 1 INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual (RV) tem emergido como uma tecnologia promissora, capaz de permitir a criação de ambientes digitais imersivos que replicam sensações e percepções do mundo real, permitindo aos usuários interagir através de dispositivos como CAVEs (Cave Automatic Virtual Environment), simuladores imersivos e Head Mounted Displays (HMD), sendo que esse último se popularizou por possuir grande portabilidade, versatilidade e baixo custo. Ela tem sido aplicada em áreas como o entretenimento, a educação, a saúde e o treinamento profissional. Na área de esportes, trabalhos como os de Gray (2019), Kittel et al. (2019), Harris et al. (2019) e Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018) buscaram aproximar o uso da realidade virtual do contexto de treinamento esportivo.

Para assegurar a eficácia do treinamento imersivo, é crucial uma avaliação minuciosa da sua capacidade de transferência para cenários práticos. Essa capacidade de aplicar os conhecimentos e habilidades adquiridos no ambiente virtual ao mundo real é denominada transferibilidade. Várias metodologias, como os trabalhos citados acima, buscam definir quais fatores são importantes para que isso ocorra, mesmo que ainda não exista um consenso sobre quais características são as mais relevantes para a transferência do aprendizado.

Graças ao aumento de popularidade, à profissionalização crescente e a altos investimentos financeiros no futebol, intensifica-se a exigência de desempenho dos atletas, em que a busca por uma melhoria de apenas 1% justifica grandes aportes financeiros. O aumento na intensidade dos treinamentos, contudo, eleva a exposição dos jogadores a riscos físicos. Diante disso, surge a necessidade de tecnologias que mitiguem o esforço físico que pode causar lesões, substituindo treinos físicos por, por exemplo, simuladores imersivos. Estas ferramentas modernas possibilitam que os atletas treinem em ambientes controlados, com alta fidelidade, ao mesmo tempo em que permitem o controle rigoroso da fadiga e a prevenção de contusões.

A análise e visualização de dados no futebol tornam-se cada vez mais frequentes e acessíveis. Técnicas como heatmaps (mapas de calor), mapas de passe, tabelas com estatísticas sumarizadas de equipes e jogadores permitem uma interpretação intuitiva de grandes volumes de dados. Além disso, plataformas baseadas em rastreamento por câmeras ou sensores geram estatísticas em tempo real, como velocidade, distância percorrida e posse de bola, enquanto ferramentas de aprendizado de máquina identificam padrões de

jogo e até os esqueletos dos jogadores, obtidos a partir da captura de dados de movimento. Esses dados de movimento permitem recriar partidas completas em três dimensões, com as posições de cada articulação de cada atleta no campo, abrindo novas possibilidades de análise tática e de treinamento imersivo, especialmente quando combinados com tecnologias de RV.

Dessa forma, identificou-se uma possibilidade de aplicação na qual esse trabalho se estabelece, buscando verificar como dados de captura de movimento podem ser utilizados para a visualização de informações e treinamento de atletas de futebol, além de buscar entender quais características são necessárias para criar um ambiente imersivo que seja efetivo para o treinamento de atletas de futebol. Para isso, idealizou-se uma ferramenta de RV para permitir a análise e a visualização de dados de partidas de futebol de formas não convencionais. A ferramenta deverá permitir a visualização sob diversas perspectivas, como arquibancada, campo, linha lateral, área técnica e até mesmo do ponto de vista de cada um dos agentes envolvidos na partida (jogadores e árbitros). Além de possuir funcionalidades como controle de reprodução, inclusão de dados analíticos e estatísticos (mapa de calor, linha de impedimento, mapa de passes e grafo de passes).

Após a implementação da ferramenta, sessões de testes de protótipo e um experimento principal foram realizados. As sessões de testes buscaram validar componentes específicos do sistema, garantir o bem-estar dos usuários e assegurar a interpretação clara das informações e a assertividade da escrita, evitando limitações na execução dos testes definitivos.

Os testes definitivos foram realizados com três grupos de usuários: universitários, profissionais e atletas de uma escolinha Sub-16. Dos resultados obtidos, podem-se observar padrões similares aos das outras pesquisas, o que sugere a eficiência da mesma quando utilizada no treinamento. O maior desafio percebido e a maior crítica dos usuários durante os testes foram o desconforto causado pelo enjoo virtual, mais comumente conhecido como cybersickness. Isso ocorreu em função da velocidade da movimentação exigida dos usuários e da falta de familiaridade destes com dispositivos de realidade virtual.

## 1.1 Motivação

A motivação deste estudo se apoiou nos seguintes tópicos, auxiliando na definição das tarefas de implementação a serem realizadas e na moldagem da criação da ferramenta.

Buscou-se entender quais vantagens podem ser obtidas com o uso de dados de captura de movimento no contexto do treinamento de futebol. Além disso, como a utilização da Realidade Virtual (RV) integrada a dados de captura de movimento pode aprimorar o treinamento de jogadores e praticantes de futebol, especificamente no que tange às habilidades perceptivas-cognitivas e ao desenvolvimento técnico-tático. E finalmente, buscou-se compreender quais padrões de desempenho podem ser observados nos resultados dos testes entre jogadores de diferentes níveis de experiência.

## 1.2 Objetivos

Têm-se como **objetivo primário** deste trabalho analisar as técnicas necessárias para a construção de um ambiente de realidade virtual dedicado ao treinamento de atletas e à avaliação da eficácia do treinamento neste tipo de ambiente.

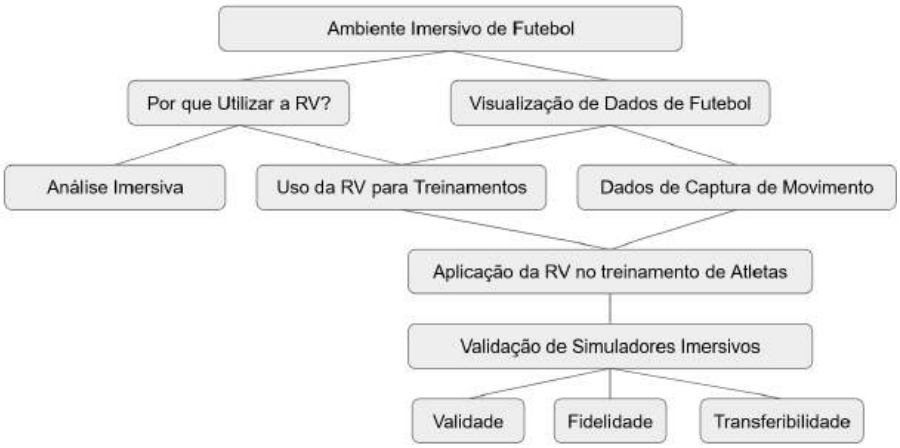
Com esse objetivo geral estabelecido, tem-se como **objetivos específicos**:

- Explorar novas formas de visualizar dados de futebol recriando partidas através de dados de captura de movimento, observando a sua aplicabilidade para a visualização, análise e treinamento dos usuários;
- Avaliar as técnicas necessárias para engajar usuários no uso de ambientes virtuais para o treinamento e melhoria de suas habilidades, a partir da ferramenta construída;
- Classificar a ferramenta com base nos critérios de validade e fidelidade definidos na literatura;
- Permitir a prática de habilidades e a tomada de decisões em um ambiente controlado, onde a capacidade do atleta e o seu progresso possam ser quantificados e monitorados ao longo do tempo;
- Observar, a partir da aplicação dos testes, as limitações da ferramenta que impedem resultados práticos e dificultam a experiência dos usuários.

## 1.3 Organização

O projeto iniciou com a revisão dos trabalhos relacionados com o uso de realidade virtual no treinamento de atletas, com foco no futebol, a partir dos quais a primeira versão da aplicação foi estruturada. O resultado da revisão dos trabalhos relacionados é

Figura 1.1 – Estrutura da revisão bibliográfica ilustrando como os tópicos se conectam.




Fonte: Autor.

apresentado no Capítulo 2 e sumarizado na Figura 1.1.

A fundamentação teórica discute algumas das aplicações da RV de forma geral, o papel da análise imersiva e o seu potencial de aplicação. Ainda não aborda, de forma detalhada, a visualização de dados no futebol e a captura de movimento. Conectando os tópicos, serão discutidos e apresentados elementos que contemplam: como é feita a aplicação da RV para ambientes de áreas diversas e, especificamente, para o treinamento de atletas e o uso da RV para capturar dados de movimento. Além disso, será sublinhada a escassez de literatura sobre implementações que buscam reproduzir esses dados. Será destacado também como a literatura aborda a validação de simuladores imersivos voltados a treinamentos e como as métricas de validade e fidelidade podem ser utilizadas para medir simuladores. Esse exercício teórico permitirá a avaliação da ferramenta desenvolvida para esse projeto.

A estrutura da primeira versão da aplicação, incluindo a motivação por trás das principais decisões e detalhes de implementação, é apresentada no Capítulo 3. Ele descreve as decisões de projeto e a implementação da ferramenta, chamada de Immersive Soccer Visualizer (ISV), incluindo a leitura e a estrutura dos dados, a renderização dos jogadores e as funcionalidades implementadas, como linha de impedimento, identificação de toques e passes, mapa de passes e mapa de calor. Além disso, a implementação da visualização do ponto de vista e dos controles é detalhada, juntamente com o registro das ações do usuário para análises quantitativas e qualitativas futuras.

Após explicar a ISV e suas funcionalidades, será apresentado o protocolo de testes com usuários no Capítulo 4, explicando e justificando as tarefas escolhidas, hipóteses e

instrumentos de medida que foram utilizados para coletar dados dos usuários.

No Capítulo 5 serão relatados os resultados dos formulários, testes de movimentação e tomada de decisão, testes de visualização e casos de uso da ferramenta no geral.

Em sequência, o Capítulo 6 apresenta a discussão geral sobre os testes, seu potencial e pontos que necessitam de melhoria, seguido pelo Capítulo 7, que trata das conclusões do trabalho.

# 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo será dividido em 4 seções, abordando tópicos que contextualizam e fundamentam as escolhas metodológicas e tecnológicas adotadas. O trabalho guiou-se a partir da compilação dos artigos encontrados na revisão bibliográfica para que fosse possível construir um referencial apropriado para a escrita desta dissertação. A lista de referências encontradas possibilitou um aprofundamento no tema e a ampliação da lista de atores que subsidiam essa discussão. A estrutura que segue é a contida na Figura 1.1.

Na primeira seção, serão discutidos o conceito e algumas aplicações da Realidade Virtual (RV), suas características principais e suas áreas de atuação, destacando as contribuições da RV como ferramenta para aplicações interativas e imersivas. Na segunda seção será contextualizada a metodologia existente para a análise e visualização de dados de futebol, quais técnicas são utilizadas e como podem ser aplicadas no treinamento de atletas. Em seguida, na terceira seção, será explorado o uso da RV no treinamento de atletas, com foco no modo como os ambientes imersivos têm sido utilizados para aprimorar habilidades, simular cenários de alta complexidade e melhorar o desempenho em diferentes modalidades esportivas. Finalmente, será explicado na quarta seção como a literatura sugere que a validação de ferramentas deve ser feita para garantir que os simuladores em RV sejam eficazes na transferência de habilidades para o mundo real. Essa validação envolve a análise da validade e fidelidade dos simuladores e o impacto do treinamento em métricas de desempenho reais. Além disso, será discutida a importância de estudos comparativos entre treinamento em RV e métodos tradicionais, bem como a necessidade de estabelecer padrões para medir a eficácia e a confiabilidade dessas tecnologias no contexto esportivo.

## 2.1 Por que Utilizar a Realidade Virtual

A *Realidade Virtual* (RV) é uma tecnologia que permite criar ambientes digitais imersivos, nos quais os usuários podem interagir de maneira próxima ao natural, imersos em um ambiente que recria algumas sensações e percepções semelhantes às do mundo real. Através de dispositivos como óculos e controladores, a RV proporciona uma experiência imersiva que tem sido aplicada em diversas áreas, desde o entretenimento até a educação, saúde e treinamento profissional.

Desse modo, Rodrigues, Porto et al. (2013) divide a RV em três ideias básicas:

- **Imersão**: Refere-se à sensação de estar dentro do ambiente virtual, onde os dispositivos transmitem estímulos que isolam o usuário do mundo exterior, permitindo explorar e manipular objetos de forma natural, em vez de apenas observar.
- **Interação**: Envolve a capacidade do sistema de responder em tempo real às ações do usuário, modificando o ambiente virtual com base em seus comandos.
- **Envolvimento**: Relaciona-se ao nível de engajamento do usuário com a atividade, podendo ser ativo (como jogar ou explorar ambientes virtuais) ou passivo (como ler ou assistir a uma simulação).

A partir do estudo realizado por Netto, Machado and Oliveira (2002), também foram definidos alguns requisitos necessários para que um sistema seja considerado de RV, considerando que, mesmo que um sistema de RV não explore todas essas características em sua totalidade, a ausência completa de qualquer uma delas pode comprometer sua classificação como um sistema de RV.

Desse modo, Netto, Machado and Oliveira (2002) definem algumas características desejadas para o sistema:

- **Interface de Alta Qualidade:** A RV atua como uma interface avançada entre o ser humano e a máquina, proporcionando interação intuitiva ao simular o mundo real;
- **Alta Interatividade:** O ambiente virtual deve reagir adequadamente às ações do usuário, permitindo o maior número possível de interações;
- **Imersão:** O sistema deve criar a sensação de estar "dentro"do mundo virtual, seja por meio do corpo físico ou de representações, como avatares, vídeos ou simulações;
- **Uso da Intuição/Envolvimento:** A RV deve explorar a intuição do usuário para oferecer interações naturais, aproveitando experiências prévias do mundo real;
- **Analogia/Ampliação do Mundo Real:** Sistemas de RV capturam habilidades conhecidas do mundo real e as ampliam com elementos inexistentes no mundo físico, como bibliotecas virtuais que destacam informações relevantes.

A partir do conjunto de ideias básicas Rodrigues, Porto et al. (2013) e das características do sistema destacados por Netto, Machado and Oliveira (2002), observa-se que a adoção da RV torna-se vantajosa justamente por sua capacidade única de replicar ou amplificar cenários do mundo real, oferecendo um ambiente controlado e imersivo ideal para aplicações que vão desde o treinamento de procedimentos complexos até a análise imersiva de informações abstratas.

## 2.2 Análise Imersiva

Dentro da RV, o campo de *Immersive Analytics* tem avançado significativamente, focando em estudar como dados abstratos podem ser apresentados em ambientes imersivos para melhorar a compreensão e a análise de informações. Essa área interdisciplinar combina fundamentos de visualização científica (*Scientific Visualization* - SciVis), visualização da informação (*Information Visualization* - InfoVis) e interação humano-computador (*Human-Computer Interaction* - HCI), utilizando tecnologias que abrangem todo o contínuo de virtualidade, incluindo realidade aumentada (AR), virtualidade mista (MR) e realidade virtual (RV). Ambientes imersivos, como CAVEs e dispositivos de visualização de cabeça montada (*head-mounted displays* - HMDs), têm ganhado popularidade, mas ainda enfrentam desafios significativos, especialmente na representação de dados abstratos em 3D, como aponta Kraus et al. (2022). A tecnologia de RV, em particular, proporciona um alto nível de imersão, permitindo que os usuários percebam as visualizações como parte do mundo real. Essa característica torna a RV especialmente vantajosa para tarefas em que visualizações tradicionais em 2D não conseguem replicar ou explorar de forma eficiente uma terceira dimensão. A seguir são destacadas algumas das áreas que tem utilizado a análise imersiva no desenvolvimento de projetos:

Na área da engenharia civil, a RV foi aplicada para facilitar a visualização de interiores em projetos, como demonstrado nos estudos de Chou, Hsu and Yao (1997) e Alizadehsalehi, Hadavi and Huang (2019).

No ambiente militar, Neto et al. (2023) desenvolveu uma aplicação em RV para auxiliar no planejamento de operações militares, uma vez que atualmente o mesmo é feito por modelagem em uma caixa de areia. A ferramenta permitiu simular o mapa escalado na RV e o posicionamento dos armamentos, verificando como interagem com o terreno e revelando posições vantajosas que dificilmente podem ser recriadas durante a modelagem manual.

O ShuttleSpace, de Ye et al. (2020), é um projeto que permite explorar e analisar as trajetórias de movimento no badminton. Ao usar o HMD do dispositivo de RV para acompanhar o volante (birdie), ele permite que o usuário reveja a partida e analise seu desempenho, desenhando a trajetória das raquetadas e revelando possíveis padrões de jogo.

Outro trabalho relevante é o Immersive Visualization of Abstract Information: An Evaluation on Dimensionally-Reduced Data Scatterplots, de Filho et al. (2018). Essa

pesquisa é focada na exploração de um conjunto de dados multidimensionais utilizando recursos inovadores de visualização e interação para aprimorar o raciocínio analítico. Sua abordagem consiste na exploração de scatterplots 3D resultantes de técnicas de redução de dimensionalidade. Os resultados do estudo indicaram que as técnicas 3D baseadas em HMD resultaram em melhor desempenho geral, exigindo menos esforço para encontrar informações, menor necessidade de navegação e proporcionando uma maior percepção subjetiva de precisão e engajamento em comparação com as técnicas de desktop.

O FiberClay, de Hurter et al. (2018), também é um sistema imersivo de visualização multidimensional que permite ao usuário navegar em um conjunto de trajetórias para obter uma compreensão mais detalhada de dados densos e complexos. Ele oferece interações de pincelamento para selecionar trajetórias que se intersectam. Além disso, o FiberClay permite ao usuário refinar a seleção de dados por meio de escultura visual de consultas com interações de pincel, enquanto navega pelas diferentes visualizações do conjunto de dados investigado. O sistema lida com o desafio de extrair informações de grandes quantidades de trajetórias 3D, cujas linhas complexas e tridimensionais podem se sobrepor, cruzar ou mesclar em áreas densas, dificultando a identificação de trajetórias individuais.

No estudo de *jogos sérios* em realidade virtual (RV-SGs), Checa and Bustillo (2020) concluiu que os mesmos têm o potencial de transformar educação e treinamento. A análise de 135 estudos revelou maior satisfação dos usuários com RV-SGs em comparação aos métodos tradicionais.

Na área de visualização de trajetórias, TIVEE, de Chu et al. (2022), permite a análise tática de trajetórias de badminton, oferecendo uma visão imersiva e dinâmica e validando-se por meio de estudos de caso e entrevistas com especialistas. Revelando a importância de combinar as áreas de análise imersiva com aplicações práticas no esporte, além de como ambas as áreas podem se beneficiar mutuamente.

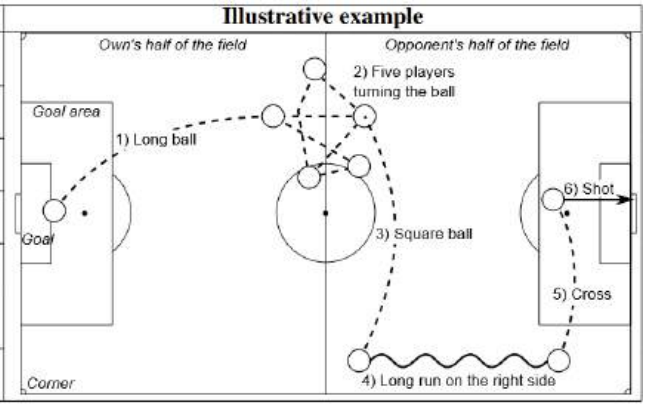
## 2.3 Visualização de Dados de Futebol

Referente à parte de Visualização de Dados sobre o futebol, tem-se mais de uma década de publicações que são voltadas ao tema (Perin et al. (2018)). O artigo Dynamic Visualizations for Soccer Statistical Analysis Rusu et al. (2010) pode ser considerado um dos mais antigos; sua premissa era permitir ao usuário (treinador) visualizar os dados dos jogadores para analisar desempenho e contratações em potenciais. Logo após, foi publi-

cada SoccerStories Perin, Vuillemot and Fekete (2013), que mudou a ênfase de análise de jogadores para a análise de partidas, permitindo visualizar a sequência de passes, os dados quantitativos (total de passes, chutes, desarmes) de jogadores em partidas, os mapas de calor e muitas outras visualizações que são utilizadas até hoje. A Figura 2.1 ilustra as ações descritas.

Figura 2.1 – Ações com bola e suas respectivas descrições e formas visuais de representação.

| Action | Description | Area |
|---|---|---|
| Long ball | *Attempt to make a long distance pass via a cross* | |
| Turning the ball | *Multiple players pass the ball to one another making short passes* | |
| Square ball | *A pass between teammates laterally, across the field* | |
| Long Run | *A player runs a long distance with the ball* | |
| Cross | *Ball delivery from either side of the field across to the front of the goal* | |
| Corner | *Kick taken from a corner towards a player/group of players* | |
| Shot | *A player hits the ball towards the goal, making an attempt to score* | |



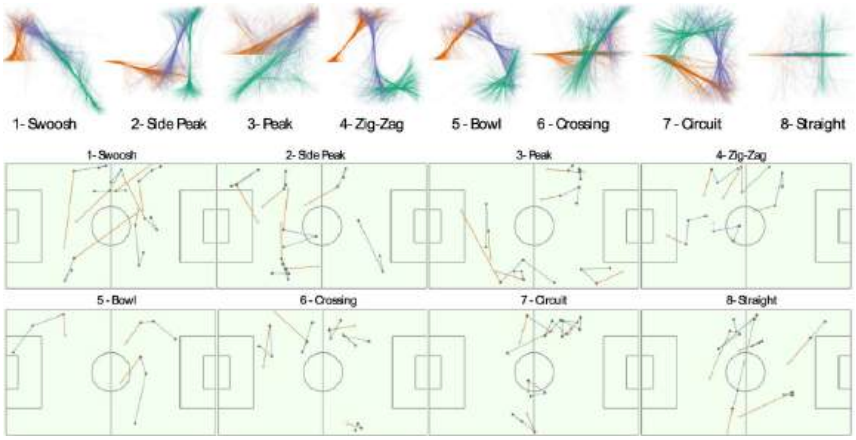

Fonte: Perin, Vuillemot and Fekete (2013).

No conjunto das análises realizadas, as sequências de passes no futebol têm ganhado destaque nos últimos anos como forma de compreender os estilos de jogo e as estratégias das equipes. O surgimento de empresas provedoras de dados e de sites especializados, como Prozone, OptaPro, Instat Football e Squawka, contribuiu para a disponibilização de dados abrangentes, permitindo que pesquisadores adotassem uma abordagem quantitativa para analisar as estratégias de passes das equipes de futebol. Estes estudos almejam uma compreensão mais profunda dos estilos de passe e a identificação de semelhanças e disparidades entre equipes e ligas. Além disso, possibilita uma análise mais refinada das estratégias de passes adotadas pelas equipes, considerando não apenas os padrões estruturais, mas também a dinâmica dos fluxos de passes.

Trabalhos como Gyarmati, Kwak and Rodriguez (2014), Narizuka, Yamamoto and Yamazaki (2014), Machado et al. (2017) e Malqui et al. (2019) abordam esse tema, este último introduz o conceito de "Flow Motifs".

Ao explorá-las, espera-se obter percepções valiosas sobre as preferências táticas das equipes, a fluidez de suas jogadas, a interação entre os jogadores e a eficácia de suas estratégias de passes. Essas informações podem ter aplicações práticas no treinamento de equipes, no desenvolvimento de estratégias de jogo mais eficientes e na análise comparativa entre equipes e ligas. Neste processo, o Mapa de Finalizações, como diz Kameoka

Figura 2.2 – Exemplo de visualização de sequências de passes.



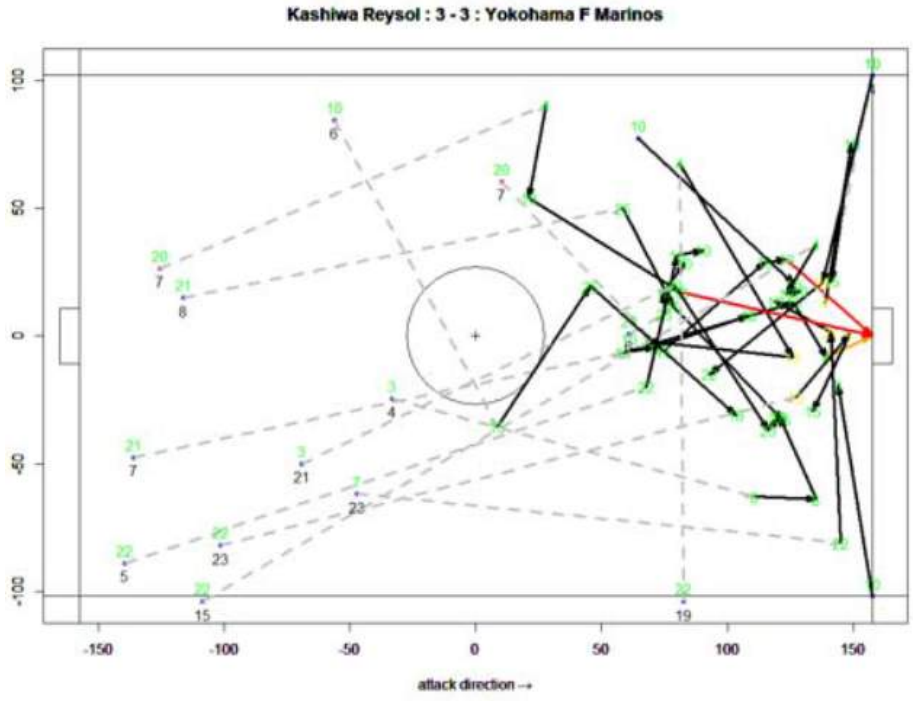

Fonte: Malqui et al. (2019).

and Yamamoto (2014), é um desenho das posições em que os chutes foram efetuados e de suas posições finais. Normalmente é apresentado em uma visualização 2D e, em alguns casos, é composto por mais uma visualização bidimensional, que mostra a frente do gol em sua posição final. Na Figura 2.3 é apresentada um exemplo de um mapa de finalizações a partir do confronto entre Brasil e Alemanha; ao analisá-la, é possível ver que a Alemanha conseguiu finalizar a maioria das vezes em áreas próximas à linha do pênalti, que são de alto xG, ou seja, possuem uma probabilidade maior de entrar, enquanto as finalizações do Brasil concentram-se na maioria das vezes fora da área e em áreas mais laterais ao gol, diminuindo o valor de xG por finalização. Outra questão é que muitas vezes as finalizações brasileiras que foram direcionadas ao gol acabaram na região central, que, segundo o xGoT, possui menor probabilidade de entrar em comparação com as finalizações alemãs, que foram mais direcionadas aos cantos do gol.

A métrica xG (Expected Goals ou Gols Previstos), como mencionada acima, é utilizada para medir a probabilidade de um chute resultar em um gol. Ela é calculada a partir da informação do histórico das finalizações que aconteceram naquele ponto do campo. Os critérios empregados são Distância para o Gol, Ângulo do Gol, a Parte do Corpo que foi utilizada para a finalização (Tronco, Cabeça, Perna...) e o Tipo da Assistência (Passe direto, cruzamento...). O valor varia de 0 à 1 conforme na Figura 2.4, sendo que 0 corresponde ao erro garantido e 1 o gol certo Rathke (2017).

Entretanto, como Gottini (2023) fala em sua tese, existe um problema, pois o xG não é capaz de mensurar a qualidade da finalização em si, apenas a qualidade da chance criada. Deste modo, procurando mitigá-lo, foram elaboradas duas novas técnicas: a Expected Goals on Target (xGoT) e a Post Shot Expected Goals (PSxG). Ambas buscam medir a qualidade, sendo que o xGoT mede a probabilidade do gol ser marcado dadas as

Figura 2.3 – Mapa de passes e finalizações de uma partida de futebol. As linhas pretas representam passes e as linhas vermelhas representam finalizações.



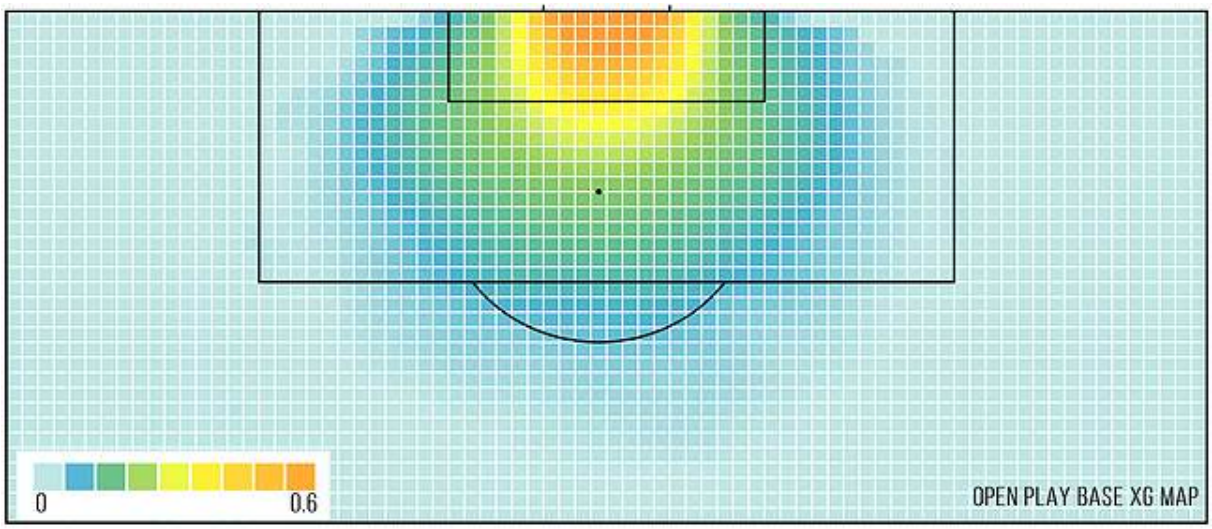

Fonte: Kameoka and Yamamoto (2014).

posições de chute e a posição final no gol. Similarmente, o PSxG mede a qualidade da finalização, adicionando, contudo, a posição do goleiro durante a finalização, já que, por sua vez, ela também influencia a probabilidade da mesma resultar em gol ou não.

Com essas métricas, é possível também calcular o desempenho do goleiro e inferir o quão bem ele desempenhou o seu papel. Subtraindo-se os gols sofridos por uma equipe do total de xGoT (ou PSxG), obtém-se a métrica de Goals Prevented (Gols Prevenidos) que informa quantos gols o goleiro, estatisticamente, evitou que sua equipe levasse. Um valor negativo quer dizer que o mesmo sofreu mais gols do que deveria teoricamente ter sofrido, enquanto que um valor positivo significa que o goleiro preveniu mais gols do que o que de fato levou. Um exemplo disso é a atuação do goleiro croata Dominik Livaković no jogo contra o Brasil pela Copa do Mundo de 2022, no qual o mesmo teve o valor de Goals Prevented de 2.20. Isso significa que o Brasil teve 2 gols anulados por ele, que, por sua vez, teve uma atuação histórica nesse jogo que resultou na eliminação da Seleção Brasileira.

O Mapa de Calor e o Mapa de Passes também são úteis para a realização de análises. Enquanto o Mapa de Calor é uma forma de visualizar os locais em que o jogador toca na bola, revelando quais são as regiões de maior participação do mesmo, o Mapa de

Figura 2.4 – Mapa de calor dos valores de xG. As zonas mais quentes do mapa de calor representam maior probabilidade de uma finalização resultar em gol.




Fonte: Schmidt (2020).

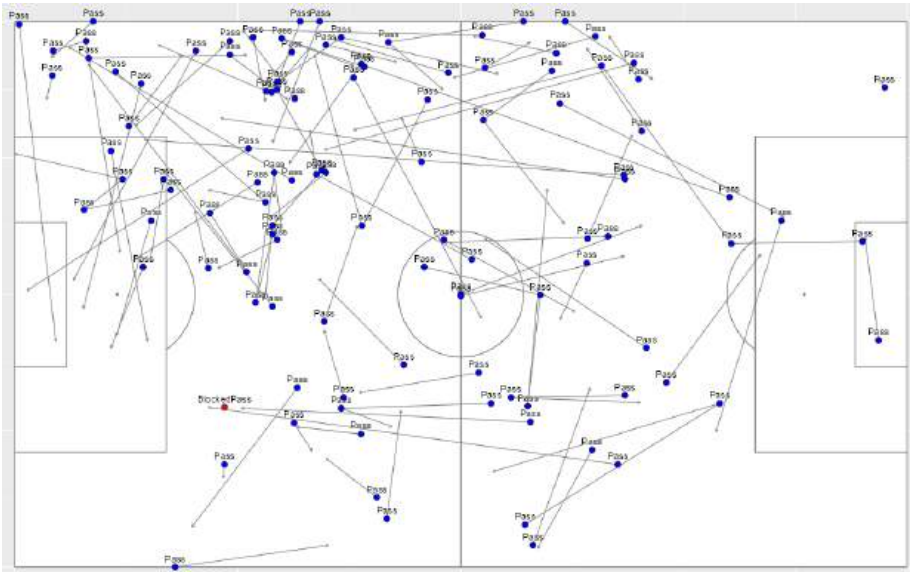
Passes é utilizado para ver como o fluxo de passes de uma equipe foi realizado durante um jogo. Essa visualização permite que seja possível identificar como o time tende a movimentar a bola, seja tocando na defesa, seja progredindo pelas laterais do campo ou seja fazendo lançamentos diretos para criar oportunidades de contra-ataque. Na Figura 2.5, ilustra-se um exemplo de mapa de passes de uma partida de futebol.

Os Posicionamentos Médios dos Jogadores, como visualizado na Figura 2.6, é realizado a partir da média dos pontos em que o jogador tocou na bola; com isso, é possível visualizar a formação da equipe e do quão avançada ela pode estar, comparar com o time adversário e analisar como as formações se confrontam durante uma partida, além de permitir uma análise mais profunda das forças e fraquezas das equipes.

## 2.4 Aplicação da Realidade Virtual Em Treinamentos

A realidade virtual (RV) tem despertado crescente interesse na área de treinamentos devido à sua capacidade de simular cenários complexos com um nível de controle dificilmente alcançável em situações reais. A RV permite a criação de ambientes de treino seguros e consistentes, que podem ser repetidos inúmeras vezes sem o risco de danos físicos ou variabilidade indesejada, conforme exemplificado por Wood et al. (2021), ao desenvolver um simulador específico para o futebol. Além disso, a RV possibilita a

Figura 2.5 – Mapa de passes de uma partida de futebol. Os círculos azuis representam as posições iniciais dos passes; a direção e o comprimento são indicados pela seta.



Fonte: Autor.

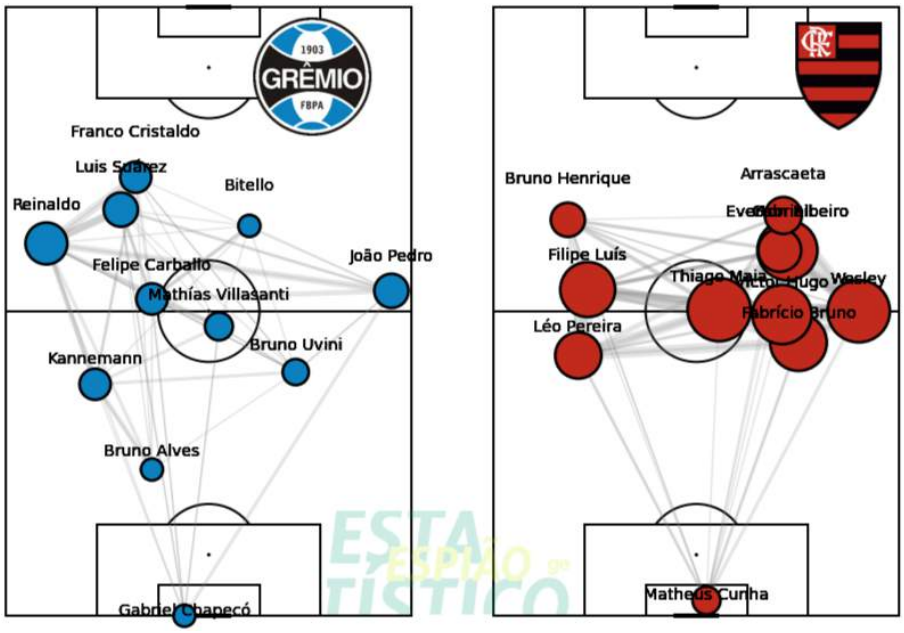
manipulação de variáveis de treino de modo a diversificar as tarefas e proporcionar experiências de aprendizagem mais robustas e transferíveis, como demonstrado no estudo de Lammfromm and Gopher (2011) sobre a transferência de habilidades de um simulador de RV para o malabarismo real. Outro aspecto relevante é o controle de feedback proporcionado pela RV, como exemplificado por Souza (2021). A dificuldade adaptativa também é um fator facilitado pela RV, permitindo que o ambiente se ajuste ao nível de habilidade do usuário e maximize a transferência para a tarefa real Gray (2017).

O uso dessa tecnologia para o ramo da medicina também é sugerido em Liu et al. (2017), por Pelargos et al. (2017), que a utilizou para o treinamento de neurocirurgia, até Seymour et al. (2002), que empregou a RV para melhorar o desempenho em salas de cirurgia. Gurusamy et al. (2008) também destaca que a RV tem sido aplicada com sucesso no treinamento de habilidades motoras finas e procedimentos complexos, promovendo uma transição mais segura e eficaz para o ambiente clínico Haque and Srinivasan (2006).

Adicionalmente, Lerner et al. (2010) avaliou se o treinamento no simulador Mimic dV-Trainer (MdVT) melhora o desempenho no sistema cirúrgico da Vinci (dVSS) em exercícios com objetos inanimados.

Esse sucesso no treinamento cirúrgico também tem inspirado sua aplicação em áreas como a aviação, onde a RV auxilia na simulação de incidentes críticos e permite que pilotos treinem reações sob estresse em um ambiente controlado. Estudos como o

Figura 2.6 – Exemplo do grafo de rede de passes de uma partida de futebol. Cada nó representa a posição média de envolvimento dos passes de um jogador. O seu raio está relacionado ao volume de passes participados. Cada aresta é conectada aos companheiros de equipe, e sua espessura é determinada pelo volume de passes trocados entre esses jogadores.




Fonte: *Espião Estatístico ge.globo.com*.

de Vine et al. (2015) indicam que as respostas individuais ao estresse, quando treinadas em RV, podem prever o desempenho em situações reais, demonstrando a transferência de habilidades adquiridas no ambiente virtual para cenários de alto risco no mundo real.

### 2.4.1 A Realidade Virtual no Treinamento de Atletas

A aplicação da Realidade Virtual (RV) no treinamento de atletas tem demonstrado eficácia, servindo para o aprimoramento da tomada de decisão em esportes que exigem alta capacidade cognitiva e física. No estudo desenvolvido por Witte et al. (2022), os autores identificaram que a combinação de dez minutos de treino em RV com o treinamento convencional de karatê kumite reduziu o tempo de resposta dos atletas, com efeitos transferidos para o desempenho no mundo real. Esse benefício se deve ao fato de que a RV oferece um ambiente seguro para a prática repetitiva, mantendo o nível de desafio e realismo necessário para reforçar habilidades específicas.

Resultados semelhantes foram observados em esportes como o basquete, onde Pagé and Trempe (2019) relataram avanços nas habilidades perceptivo-cognitivas de jo-

Figura 2.7 – Mimic dV-Trainer (MdVT). Um simulador imersivo para cirurgias.




Fonte Lerner et al. (2010).

gadores após quatro sessões experimentais em RV. Essas sessões permitiram que os atletas enfrentassem cenários variados de tomada de decisão, com a possibilidade de repetir e analisar suas respostas de forma segura e controlada.

No golfe, Harris et al. (2019) constataram que golfistas de elite superam novatos tanto em ambientes reais quanto virtuais, observando uma correlação positiva moderada entre o desempenho nos dois contextos. Esses achados sugerem uma transferência significativa de habilidades entre os ambientes, destacando o potencial da RV para aprimorar a tomada de decisão e outras habilidades cognitivas complexas.

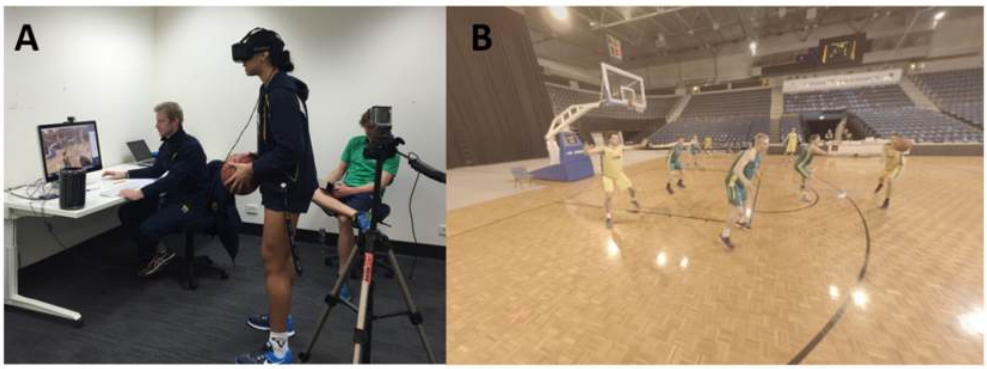
Apesar de reveladores, os resultados desses estudos provam apenas que os simuladores utilizados eram de alta qualidade, mas não validam diretamente o uso de dados reais para o treinamento em RV.

Nesse ponto, Kittel et al. (2019) propuseram a RV como uma ferramenta eficaz para a avaliação da tomada de decisão em esportes, destacando seu valor como método de treino e diagnóstico. Um ano depois, Kittel et al. (2020) publicaram outro estudo, agora mais voltado ao futebol, que revelou que, após cinco sessões de treinamento experimental com RV, tanto atletas quanto árbitros apresentaram melhorias nas habilidades de tomada de decisão, utilizando imagens em 360° e vídeos de partidas para simular situações de jogo.

A eficácia do uso de vídeo imersivo (*VR360*) como ferramenta de treinamento

perceptual-cognitivo foi investigada por Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018). Os resultados indicaram que esse tipo de abordagem pode melhorar a tomada de decisão em jogadores de basquete, mantendo os atletas cognitivamente engajados mesmo quando não podem treinar fisicamente. O estudo também enfatiza a necessidade de personalizar os cenários de treinamento para maximizar a eficácia e o engajamento. Sua execução pode ser vista na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Execução de testes imersivos de basquete utilizando *VR 360*. A imagem da esquerda ilustra o usuário utilizando o simulador, enquanto a da direita representa a sua visão durante os testes.




Fonte: Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018).

Uma avaliação sistemática da eficácia dos programas de treinamento baseados em vídeo no desenvolvimento de habilidades perceptivo-cognitivas também foi realizada por Larkin, Mesagno and Spittle (). O estudo conclui que esses métodos podem aprimorar a precisão de decisão em diferentes esportes, embora a eficácia varie de acordo com o nível de habilidade dos atletas.

Os efeitos positivos da RV sobre as habilidades percepto-cognitivas foram explorados por Fortes et al. (2021), que ressaltam a escassez de estudos comparativos entre RV e vídeos. Em um protocolo de oito semanas com jovens atletas de futebol, a pesquisa analisou o impacto de treinamentos com RV e vídeo na tomada de decisão, no comportamento de busca visual e no controle inibitório. Ambos os métodos melhoraram as habilidades avaliadas, mas a RV demonstrou maior avanço na tomada de decisão e na busca visual. Diferenças significativas não foram observadas no controle inibitório entre os grupos, destacando o potencial da RV para otimizar o desenvolvimento de habilidades percepto-cognitivas em esportistas.

### 2.4.2 Utilização de Dados de Captura de Movimento

Mais voltada para a captura de dados de movimento, a RV foi utilizada para capturar movimento em jogos de treino, mas não para reproduzir esses dados para o contexto de treinamento imersivo.

Herrmann, Krüger and Lensing (2021) propuseram um framework de software que é capaz de simular, comparar e avaliar qualquer sistema de captura de movimento de forma puramente virtual. Nesse aspecto, Liu, Liu and Ni (2023) usaram a RV para coletar os dados e técnicas de ML para treinar a detecção do que o jogador estava fazendo, mas não foi usada para reproduzir e utilizar os dados para o treino humano.

## 2.5 Validação de Simuladores Imersivos Aplicados em Treinamento

A aplicação da RV no treinamento exige a avaliação criteriosa de sua qualidade para garantir que o mesmo seja transferido para o mundo real. Essa capacidade de transferir o aprendizado entre ambientes virtuais e reais é chamada de *transferibilidade*. Para que isso ocorra, diferentes abordagens e conceitos têm sido explorados. São definidas na literatura duas características fundamentais para os simuladores: *validade* e *fidelidade*. A *validade* refere-se ao grau em que a simulação representa de maneira precisa as características essenciais da tarefa, enquanto *fidelidade* é a extensão em que a simulação reproduz os estados ou comportamentos do mundo real, segundo Burdea (2003). Harris et al. (2020) também destaca que simulações eficazes devem demonstrar níveis adequados dessas duas características para garantir a eficiência do treinamento.

### 2.5.1 Validade

O termo *Construct Validity* é citado por Wood et al. (2021) como uma das formas de validar a eficácia de um simulador. Na verdade, ele foi introduzido por Harris et al. (2020). Nesse estudo, conclui-se que se a ferramenta reproduzir as características fundamentais da tarefa e exigir do usuário habilidades compatíveis com aquelas necessárias no mundo real, ela deve ser capaz de distinguir os níveis de proficiência entre amadores e profissionais. Embora não exista um padrão universal de validação, a diferenciação entre expertises tem sido amplamente utilizada para este propósito.

### 2.5.2 Fidelidade

Em sequência, Wood et al. (2021) explora a fidelidade, citando Gray (2019), que a subdivide em diferentes categorias, conforme ilustrado na Tabela 2.1. A seguir, cada uma dessas subdivisões é desenvolvida:

Tabela 2.1 – Subdivisões de fidelidade baseadas na literatura.

| **Tipo de Fidelidade** | **Descrição** |
|---|---|
| Fidelidade Física | Relaciona-se à semelhança do ambiente simulado com o mundo real em termos visuais e comportamentais. Um alto nível de fidelidade física pode melhorar a imersão do usuário, tornando a experiência mais intuitiva e realista. |
| Fidelidade Afetiva | Avalia a capacidade da simulação de reproduzir emoções equivalentes às de um contexto real. Isso é especialmente importante em treinamentos que envolvem tomada de decisão sob pressão, onde as respostas emocionais têm impacto significativo no desempenho. |
| Fidelidade Biomecânica | Refere-se à precisão na reprodução dos movimentos físicos, como gestos ou ações motoras, necessários para a execução da tarefa. Esta fidelidade é essencial em simulações que visam melhorar habilidades motoras específicas. |
| Fidelidade Psicológica | Foca na similaridade das demandas cognitivas e perceptivas entre a simulação e o mundo real. É crucial para o desenvolvimento de habilidades que envolvem análise, estratégia e resposta a estímulos. |

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de (HARRIS et al., 2020) e (WOOD et al., 2021).

Apesar da abordagem acima ter sido utilizada em diversos trabalhos que envolvem simuladores imersivos, recentemente Bonfert et al. (2024) desenvolveu uma taxonomia para distinguir os aspectos da fidelidade na RV. Ele justifica seu trabalho citando que na literatura não existe um padrão de consistência da terminologia, gerando confusão e, algumas vezes, equívocos por parte dos autores. Por conta disso, em seu trabalho, a fidelidade é subdividida em 8 partes: Ação, Detecção, Transferência, Simulação, Renderização, Exibição, Perceptual e Experiencial.

### 2.5.3 Transferibilidade

A avaliação dessas fidelidades, em conjunto com a análise de *validade*, é fundamental para garantir que ferramentas de RV para treinamentos sejam eficazes e seguras, além de maximizarem a transferência de habilidades para o mundo real (GRAY, 2017).

Contudo, outros autores que testaram a RV para treinamento se depararam com o problema da *transferibilidade*, que pode ser resumido como o problema de provar que as habilidades adquiridas através do treinamento no ambiente imersivo ou simulador se convertam em melhoria de desempenho no mundo real, que, apesar de fortemente indiciado, ainda não foi comprovado.

Para que essa transferência ocorra, Covaci, Olivier and Multon (2015) destacam que os ambientes de treinamento reais e virtuais devem ser similares, além dos resultados de Oagaz, Schoun and Choi (2021), que sugerem que habilidades motoras complexas podem ser aprendidas no VR e transferidas para o mundo real. Para isso, foi desenvolvido um sistema de tênis de mesa em VR com física realista, estímulos audiovisuais, captura de movimento e feedback em tempo real sobre postura e técnica.

Ainda assim, a transferibilidade das habilidades obtidas no treinamento em RV para o mundo real não conseguiu ser provada. O que se tem são fortes indícios de que acontece, mas faltam estudos mais longos e métodos de avaliação padronizados que comprovem essa relação de forma conclusiva. Além disso, a variabilidade nos cenários virtuais e nas métricas utilizadas para medir o desempenho dificulta a comparação entre os estudos.

# 3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

O processo de revisão bibliográfica identificou as seguintes oportunidades de estudo:

- A dificuldade na obtenção e reprodução fiel de dados de captura de movimento para o treinamento imersivo é uma lacuna evidente, visto que a RV tem sido mais utilizada para coletar dados do que para simulá-los ou reproduzi-los para o treinamento humano;
- O treinamento imersivo com dados reais, predominantemente representado pelo uso do VR360, apresenta problemas como a falta de liberdade de movimentos do usuário;
- A visualização de dados no futebol, apesar de publicações existentes, ainda é predominantemente estática e bidimensional, com a escassez de dados dinâmicos limitando a utilidade de ferramentas como mapas de passes.

Essas limitações na obtenção de dados de mocap, nos problemas do treinamento imersivo e na visualização de dados estáticos destacam a urgência de pesquisas que aprimorem a fidelidade e a transferibilidade das habilidades em ambientes de RV para o mundo real.

Baseado nas lacunas identificadas durante o processo de revisão bibliográfica, iniciou-se o processo de desenvolvimento de uma ferramenta que foi chamada de Immersive Soccer Visualizer (ISV). Ela foi idealizada com a finalidade de ser robusta a ponto de permitir ser utilizada para o treinamento de atletas, análise e visualização de dados de formas que não são convencionais, ou seja, ângulos de visão diferentes e técnicas de interação que não são presentes em transmissões de televisão. Para isso, obtiveram-se dados de captura de movimento de um jogo de futebol, o qual consiste nos 22 jogadores e oficiais da partida, descritos com detalhes na Seção 3.3.1.

Em sua versão final, a ISV possui as seguintes características:

- Permite ao usuário visualizar o ponto de vista de cada um dos agentes envolvidos na partida (jogadores e árbitros), tornando possível treinar habilidades perceptuais-cognitivas, bem como a tomada de decisão, através de cenários de passe definidos com base nos dados disponíveis, além de treinar a movimentação em jogadas em que o usuário não interage com a bola;
- Assistir à partida da arquibancada, do campo, da linha lateral, da área técnica. Con-

trole de reprodução (avançar, retroceder, pausar, alterar a velocidade de reprodução);

- Permitir a visualização de dados analíticos e estatísticos, como mapa de calor, linha de impedimento, mapa de passes e grafo de passes, trajetória recente dos jogadores e da bola.

As seções a seguir descrevem os principais passos do planejamento e implementação do projeto, de acordo com as oportunidades identificadas. O foco está nas ferramentas que dão suporte aos experimentos que foram realizados com os atletas, que são descritos no Capítulo 4.

## 3.1 Decisões de Projeto

A finalidade inicial da ferramenta consistia na recriação da cena dada à leitura dos dados, do ambiente virtual e de implementações de ferramentas de visualização tradicionais na área para explorar novas formas de visualizar e analisar os dados. Ela foi desenvolvida através de um processo iterativo, com a implementação e validação das funcionalidades, para minimizar erros e situações inesperadas durante os experimentos com os atletas. A descrição detalhada deste processo é focada em aspectos de implementação e pode ser encontrada nos Apêndices D, E, F.

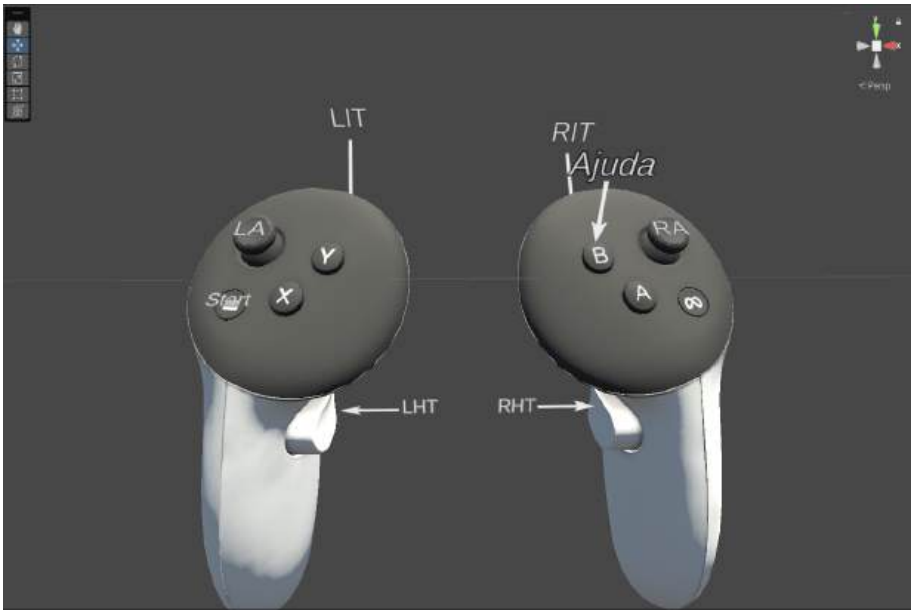
## 3.2 Funcionalidades

As implementações de interação do usuário com a ferramenta foram definidas com o intuito de permitir a utilização da ferramenta tanto para treinar suas habilidades quanto para visualizar dados. É possível visualizar os controles com seus botões mapeados para que o usuário os utilize durante os testes na Figura 3.1.

As funcionalidades disponíveis para o usuário são:

- Avançar e retroceder no tempo da cena;
- Flexibilidade de posicionamento do observador em qualquer ponto da arquibancada; permitindo assistir à cena sob outros ângulos;
- Velocidade de reprodução em câmera lenta, em um terço da velocidade real;
- Movimentar o usuário dentro do ambiente virtual com o controle analógico es-

Figura 3.1 – Mapeamento dos botões nos controles Meta Quest 3. Os textos e indicadores aparecendo na imagem estão ilustrados da mesma forma que são representados na cena.




querdo;

- Rotacionar o usuário com o controle analógico direito;
- Ativar a trajetória de qualquer jogador, além de ativar o seu mapa de calor;
- Visualizar o ponto de vista de qualquer jogador, seguindo a orientação da cabeça e o seu movimento;

A movimentação é contínua e em tempo real. A translação é feita pelo analógico esquerdo enquanto a rotação pode ser feita tanto pelo analógico direito quanto pela rotação da cabeça.

Essas abordagens permitem ao usuário interagir com a cena de todas as formas desejadas e julgadas como importantes no processo de treinamento.

## 3.3 Detalhes de Implementação

Esta é uma seção técnica e aprofundada no desenvolvimento da ISV; seus tópicos estão relacionados com implementações das funcionalidades que servirão de base para os experimentos principais, que estão descritos no Capítulo 5.

O motor gráfico Unity (v. 2022.3.9f1) serviu de suporte para implementar a ferramenta utilizada nos testes, por possuir extensões que facilitam a inicialização dos plugins necessários para programar dentro da RV. Utilizou-se, especificamente, o OpenXR 4.0.

### 3.3.1 Leitura e Estrutura dos Dados

Os dados são armazenados em arquivos de texto estruturados. Cada arquivo JSON corresponde a um quadro de gravação.

Eles foram gerados pela empresa Hawk-Eye Innovations, como resultado de uma demonstração à Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA). A Hawk-Eye é reconhecida pelo trabalho no tênis, onde implementa a revisão das marcações dos juízes de linha, e no beisebol, onde implementa o rastreamento dos jogadores e da bola durante os jogos. A demonstração para a FIFA contou com 8 a 12 câmeras instaladas no estádio e calibradas semiautomaticamente a partir das linhas do campo, nas quais o vídeo de cada câmera era processado para (1) detectar os jogadores (detecção de objetos) e (2) extrair o esqueleto 2D de cada jogador (estimativa de poses). Os esqueletos eram então reconhecidos pela sua posição 2D no campo e triangulados para a geração dos esqueletos 3D, que foram filtrados ao logo do tempo em um processo de duas etapas: na primeira etapa, cada esqueleto 3D foi usado como referência para a adaptação de um esqueleto 3D "padrão" em um processo de cinemática inversa, o que garantia a precisão do esqueleto localmente. A segunda etapa implementou uma suavização simples de cada junta do esqueleto ao longo do tempo, para garantir a precisão do movimento capturado de cada jogador. O resultado foi um processo de captura de esqueletos 3D em tempo real, capaz de gerar resultados suaves, ainda que com pequenos erros de posicionamento das juntas, devido ao processo de cinemática inversa.

A quantidade total de arquivos é de aproximadamente 15000 (quinze mil), totalizando 600 MB de armazenamento em disco.

Os dados foram gravados a 45 vezes por segundo, sendo estruturados da seguinte forma.

- **ballPosition** - A posição da bola em um vetor de 3 dimensões;
- **playerTracking**
    - **people** - Uma lista com os jogadores, que possuem os seguintes atributos:
        - **centerOfMass** - Posição do centro de massa do jogador;
        - **heightOfGround** - Altura do centro de massa para o chão;
        - **jerseyNumber** - Número da camiseta (não é único nem identificador);
        - **jointIds** - Uma lista com todas as articulações que foram rastreadas;
        - **positions** - As coordenadas das articulações acima, estão soltas sem for-

matação, cada trio representa um vetor tridimensional;

- **roleId** - Qual o papel do jogador (goleiro, árbitro ou jogador de linha);
- **skeletonType** - Tipo do esqueleto (não foi utilizado);
- **teamId** - Id da equipe do jogador, time 1, 2 ou juiz;
- **trackId** - Identificador do rastreio, único por jogador;

- **roles** - Os papéis já predefinidos:
  - **name** - (, "PLAYER", "GOALIE", "REFEREE")
- **skeletons** - "COCO"
- **teams**
  - **name** - ("TeamA", "TeamB", "Referees")
- **time** - O tempo do quadro.

Para melhorar a performance da simulação, optou-se por carregar todos os arquivos na memória durante a inicialização da ferramenta, sendo que, para cada arquivo, foram extraídos os seguintes atributos, com exceção da posição da bola, para cada jogador:

- Centro de massa;
- Altura do chão;
- Número da camiseta;
- Identificadores das articulações;
- Posições;
- Identificador da posição (tarefa);
- Identificador da equipe;
- Identificador de rastreio.

Após o final da leitura do arquivo, obteve-se uma lista com 22 jogadores + 3 árbitros, contendo os atributos acima e a posição da bola. A seguir, o procedimento segue para o próximo arquivo, guardando os dados de cada arquivo em uma posição de um outro vetor, que contém o tamanho do número total de quadros.

No Apêndice B, está detalhado de forma mais detalhada como a renderização é implementada. Em seu estado final, os jogadores são renderizados conforme ilustrado na Figura 3.2.

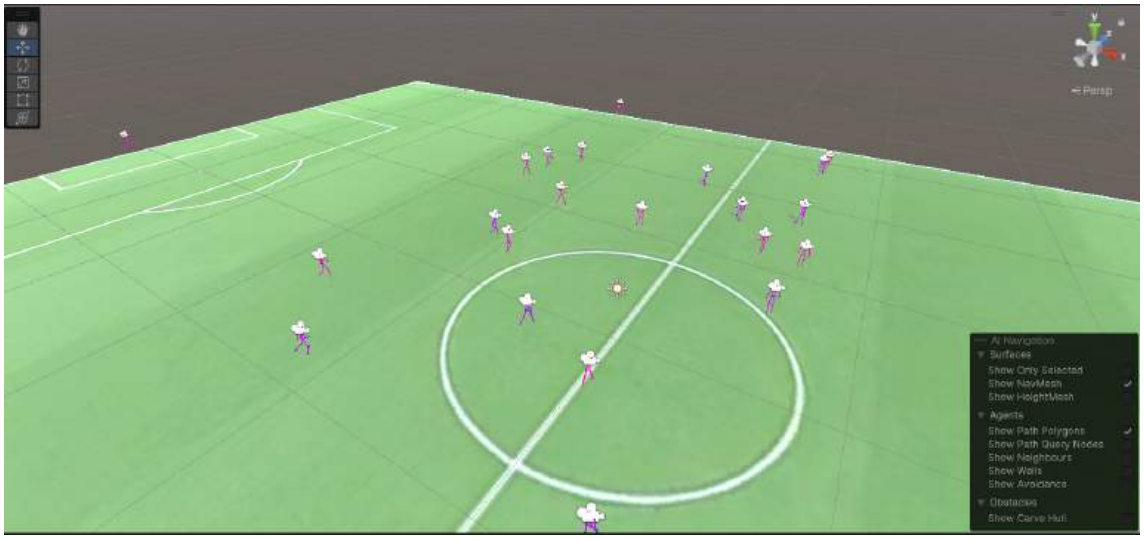
Figura 3.2 – Modelos de jogador renderizados. A cor é dada com base no time; o círculo na base ajuda na identificação em distâncias mais longas. O número da camiseta está acima do modelo e segue a sua movimentação, sempre rotacionado para ficar de frente à câmera do usuário.




### 3.3.2 Renderização da Cena

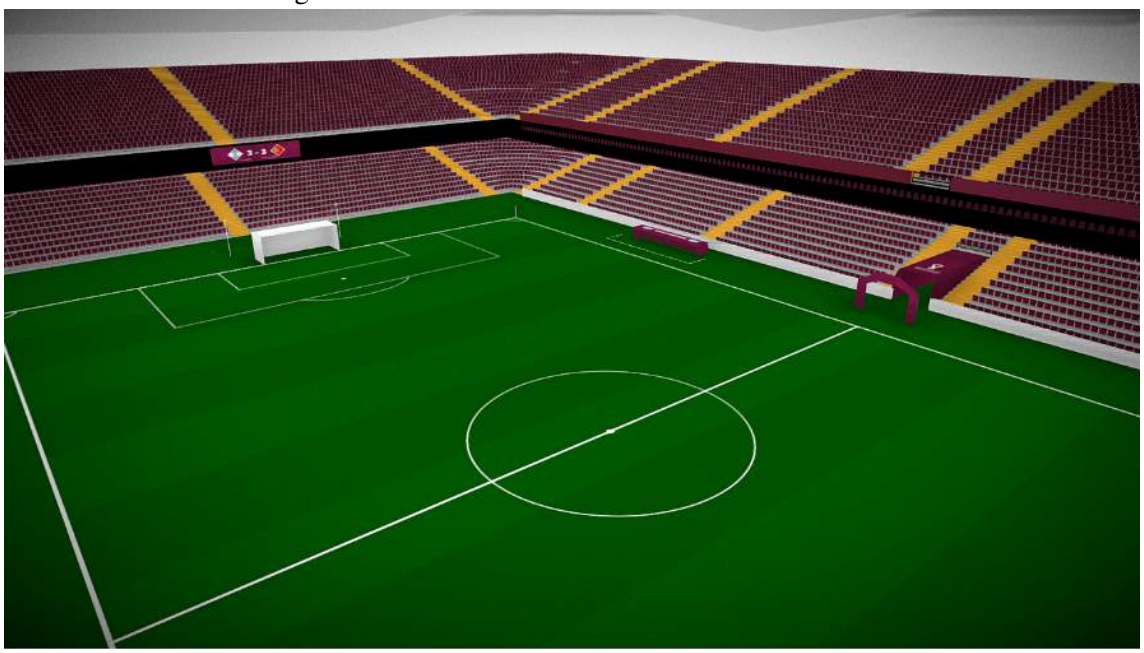
Um plano com as dimensões de um campo de futebol foi criado e recebeu uma textura para simular a grama, escalado de acordo com os dados e proporções reais. Balizas temporárias foram posicionadas nos locais apropriados, concluindo a configuração inicial da cena.

Figura 3.3 – Renderização inicial do campo com os jogadores.



Por fim, um modelo gratuito de estádio foi adicionado à cena para proporcionar maior familiaridade ao visualizador durante a interação com o ambiente.

Figura 3.4 – Modelo do estádio adicionado na cena.



Com a cena renderizada, foi dado início ao processo de transformá-la em uma ferramenta que pudesse ser utilizada para treinamentos e para fazer análises e visualizações. O primeiro passo foi adicionar um traçado à trajetória da bola e ao centro de massa do jogador, além de deixar as cores dos jogadores únicas, relacionando-os apenas por uma base de cor do time.

### 3.3.3 Implementação da Linha de Impedimento

Para a implementação da linha de impedimento, foi utilizada uma abordagem baseada na análise da posição dos jogadores em cada quadro do jogo. A linha de impedimento é formada por uma linha paralela às laterais do campo e outra perpendicular à posição do último jogador defensor legal ou, no caso de impedimento, à posição do primeiro jogador atacante em situação irregular.

Inicialmente, para cada quadro, todos os jogadores foram classificados em dois vetores, correspondentes às duas equipes. Em seguida, as posições dos jogadores foram ordenadas com base no centro de massa ao longo do eixo X. Para identificar os limites da linha de impedimento, o segundo jogador da equipe defensora foi comparado com o penúltimo jogador da equipe atacante, e vice-versa.

A partir dessa análise, foi realizada a busca pelas articulações relevantes. No caso do defensor, considerou-se a articulação mais recuada entre as legalmente válidas

Figura 3.5 – Renderização da final da cena com o estádio. A linha amarela representa a trajetória da bola. Os jogadores estão coloridos com base no seu clube. Em amarelo, próximo da bola, está o árbitro.



(excluindo mãos e cotovelos). Para o atacante, identificou-se a articulação mais avançada, também desconsiderando mãos e cotovelos.

Com essas informações, verificou-se a posição relativa entre as articulações do defensor e do atacante. Caso a articulação do atacante estivesse à frente da do defensor, caracterizava-se a posição de impedimento. Quando isso ocorria, a linha de impedimento era destacada com uma cor específica e permanecia fixa na posição do segundo defensor mais recuado, enquanto um marcador visual, na forma de um cilindro perpendicular ao campo, era posicionado na articulação mais avançada do atacante.

### 3.3.4 Identificação de Toques e Passes

Para a identificação dos toques na bola, optou-se por um método baseado em cálculo de distâncias euclidianas entre as coordenadas espaciais da bola e as articulações dos jogadores em cada quadro. Estabeleceu-se um limiar (threshold) de proximidade para caracterizar o contato: quando a distância mínima entre a bola e qualquer articulação fosse inferior a esse valor, registrava-se um toque.

Cada evento de toque foi armazenado como uma estrutura contendo as seguintes propriedades:

- Coordenadas tridimensionais do jogador no momento do toque;

Figura 3.6 – Implementação da linha de impedimento. É possível ver a posição do ombro direito do jogador marcada como último membro legal, enquanto a linha fica paralela ao campo.



- Tipo de evento (classificação discreta);
- Identificação do quadro temporal;
- Identificadores únicos do jogador, da equipe e da função tática.

Um desafio imediato foi a ocorrência de registros redundantes em quadros consecutivos, gerando duplicações. Para resolver esse problema, implementou-se um algoritmo de filtragem que verifica para cada quadro $n$ se toques subsequentes do mesmo jogador ocorrem em quadros imediatamente adjacentes ($n+1$); apenas o primeiro evento era mantido, eliminando redundâncias.

Um passe foi definido como uma sequência de toques entre dois jogadores da mesma equipe. A detecção baseou-se na comparação entre os identificadores de equipe e jogador em eventos consecutivos. Para passes imprecisos (classificados como erros), adotou-se um critério adicional: calcula-se a distância entre a posição da bola no quadro subsequente e a posição do jogador originário. Se essa distância excedesse um limiar pré-definido, o evento era categorizado como passe impreciso.

Embora essa implementação apresentasse limitações, como a ambiguidade entre passes imprecisos e interceptações adversárias ou casos como finalizações bloqueadas, a abordagem foi considerada adequada para o escopo do estudo, dada a curta duração do material analisado e o caráter secundário desses eventos nas análises posteriores.

### 3.3.5 Implementação do Mapa de Passes

Com os passes certos identificados, iniciou-se o processo de criação do mapa de passes, que é um grafo que relaciona o volume de passes que ocorrem entre os jogadores do time. A partir dele é possível ter uma noção de quais jogadores foram mais ativos durante a partida, quais partes do campo foram as mais e menos ativas durante o jogo, entre outras possíveis interpretações. Para implementar o mapa de passes, foi percorrida a lista de passes certos. Essa por sua vez possuía:

- Ponto inicial do passe;
- Ponto final do passe;
- Jogador que efetuou o passe;
- Jogador que recebeu;
- Quadro inicial e final.

Criou-se, então, uma matriz de passes que associa o jogador que efetuou o passe ao jogador que recebeu e o volume de passes que ocorreu entre eles. Após a criação dessa matriz, foi calculada a posição média dos passes de cada jogador e foi inserida uma marcação na posição. Com isso, foram traçadas as arestas entre os jogadores que tinham passes trocados entre si, e a espessura dessas arestas deu-se pela proporção entre o maior e o menor volume de passes entre os jogadores.

Um dos problemas que ocorreram é que, pelo fato da duração dos dados ser de aproximadamente 5 minutos, o maior volume de passes entre dois jogadores foi de apenas 3 passes; logo, o grafo ficou extremamente deformado e com as espessuras das arestas semelhantes. Não foi possível extrair informações dele, sendo necessário um número maior de dados. É possível ver a versão final do grafo na Figura 3.7.

Com a identificação dos passes já registrada, foi implementada uma abordagem mais simples que renderiza uma seta no campo para cada um. Porém, novamente, pela curta duração da gravação, estas também não se mostraram úteis. É possível ver na Figura 3.8 esses passes ilustrados na cena.

### 3.3.6 Implementação do Mapa de Calor

O mapa de calor é uma forma popular de visualização que foi abordada em estudos recentes, como o de Zhang et al. (2024). Esse mapa foi implementado para exibir

Figura 3.7 – Versão do grafo de passes implementado. Cada aresta representa a posição média entre os jogadores envolvidos nos passes. A espessura é dada com base no volume de passes trocados entre os jogadores.



Figura 3.8 – Versão das setas de passe implementada. Cada seta representa a trajetória do passe, do seu ponto inicial ao final.

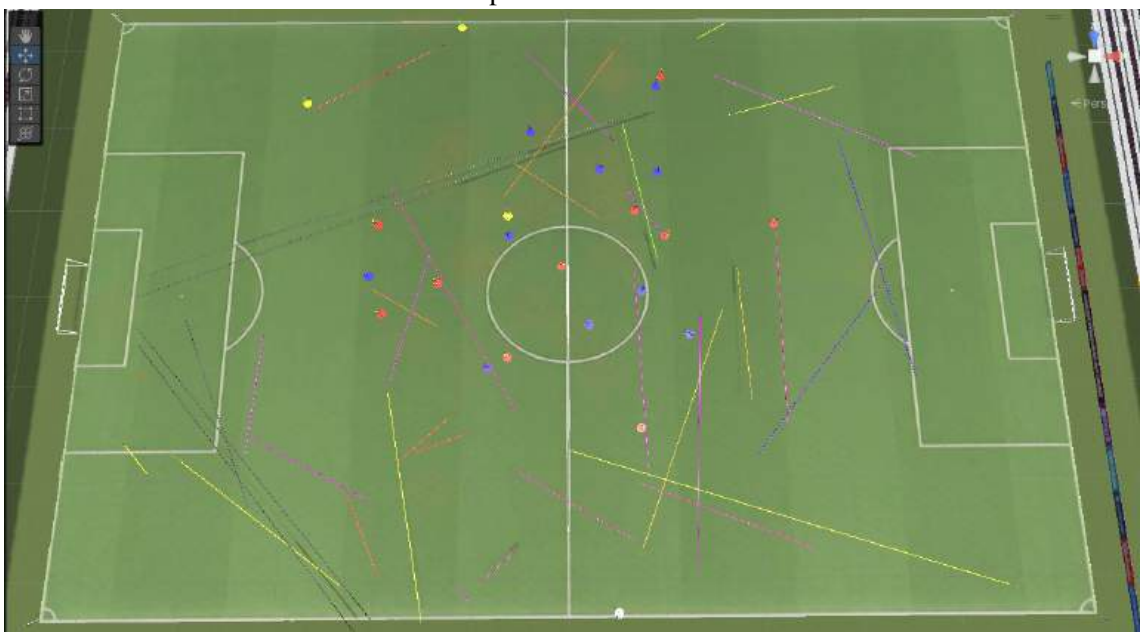
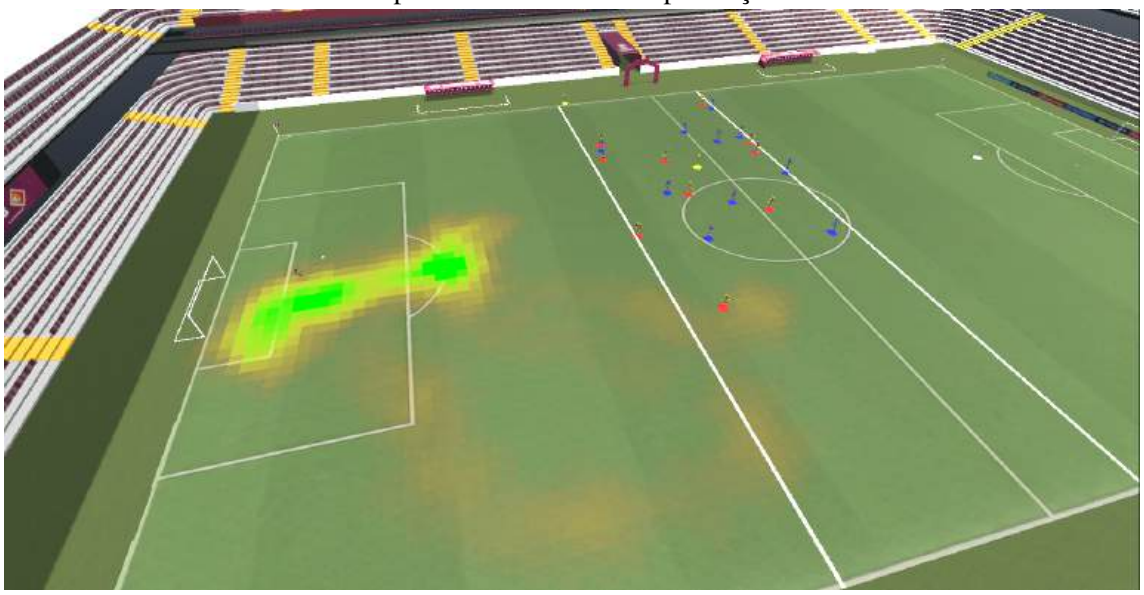


Figura 3.9 – Renderização do mapa de calor do goleiro do time vermelho. Os pontos mais verdes representam os de maior presença.



zonas de ação e revelar padrões de comportamento dos jogadores durante a partida. Para isso, criou-se um retângulo com as medidas do campo, subdividido em uma grade com quadrados de 1 metro. Um método foi desenvolvido para mapear a posição dos jogadores no campo para as coordenadas da grade.

A implementação incluiu uma função de dissipação para calcular os valores da intensidade de cada célula, um limiar máximo e um sombreador que aplicava coloração com base nesses valores. Inicialmente, o mapa contabilizava toques na bola, mas devido à escassez de dados (aproximadamente 5 minutos de jogo), foi constatado que muitos jogadores não preenchiam suficientemente o mapa. A abordagem foi ajustada para contabilizar a posição dos jogadores ao longo do tempo, resultando em um mapa de calor que se assemelhava a uma versão suavizada do traçado das trajetórias já implementadas. É possível ver na Figura 3.9 a versão final do mapa de calor.

### 3.3.7 Implementação da Visualização do Ponto de Vista

Para poder visualizar os pontos de vista dos jogadores na tentativa de interpretar os porquês das tomadas de decisão, foram inseridos objetos de câmera nas cabeças dos jogadores, permitindo que fosse renderizado o seu ponto de vista.

Essa parte da implementação foi fortemente influenciada pelo processo iterativo de desenvolvimento. No Apêndice C é descrita parte desse processo e das alternativas

que foram consideradas e, por consequência, descartadas por escolha da que será descrita nesse capítulo.

Considerando o sistema de coordenadas tridimensionais $(x, y, z)$, temos os seguintes componentes:

- Objeto do jogador (Player Object): Representa o modelo do usuário no ambiente virtual. Esse objeto possui um vetor $\vec{v}_{\text{user direction}}$ relacionado ao "norte"do objeto;
- Óculos (HMD - Head Mounted Display): Representa o objeto que simula a cabeça do usuário no ambiente virtual, sendo "filho"do objeto do usuário na hierarquia;
- $\vec{v}_{\text{player}}$: Vetor que indica a direção para a qual o jogador está voltado no ambiente virtual;
- $\vec{v}_{\text{HMD}}$: Vetor que indica a direção em que o usuário está olhando no mundo real e sua rotação em relação ao objeto do jogador.

Para cada quadro foi calculado o vetor entre a articulação do pescoço (neck) e a do nariz (nose). O vetor neck teve o valor do vetor do nose atribuído para que ambos estivessem na mesma altura. A partir disso, foi calculado o vetor da direção da seguinte maneira.

Dado os pontos:

$$Neck = (\text{Pescoço}_x, \text{Nariz}_y, \text{Pescoço}_z), \quad Nose = (\text{Nariz}_x, \text{Nariz}_y, \text{Nariz}_z),$$

O vetor $\vec{v}$ que representa a posição do vetor entre o pescoço e o nariz é dado por:

$$\vec{v} = \overrightarrow{\text{Direção}} = (\text{Nariz}_x - \text{Pescoço}_x, \text{Nariz}_y - \text{Pescoço}_y, \text{Nariz}_z - \text{Pescoço}_z).$$

A abordagem considerada satisfatória consistiu em manter o objeto do usuário fixo e apontando para o vetor do pescoço, permitindo a rotação e movimentação do HMD. Dessa maneira, a movimentação do jogador alterava também o seu ângulo de visão. Além disso, o norte do jogador consistia no norte do usuário, evitando a perda da noção de direção e do seu olhar para a direção correta. Ainda assim, essa abordagem causou algum desconforto. Em um exemplo, quando o jogador é visualizado enquanto corre, o movimento natural do corpo é que ele sacuda a cabeça de um lado para o outro, pois não necessariamente a direção da cabeça é a direção dos olhos, e, por não poder deduzir onde eles estão apontados, tem-se um impasse. Dessa forma, tanto a rotação quanto a movimentação do HMD são permitidas, e o objeto do jogador é fixo em relação ao pescoço

do usuário. Quando o usuário move a cabeça ou se movimenta fisicamente, o objeto do jogador segue o movimento, mantendo a direção do jogador correta dentro da cena.

Embora esta abordagem forneça uma sensação de imersão mais natural, ela pode causar desconforto se o movimento da cabeça for muito brusco ou se a direção do olhar não coincidir com o movimento natural dos olhos do jogador, como no exemplo acima do jogador correndo. Ainda assim, pelos efeitos colaterais estarem bem reduzidos em relação às versões anteriores, essa abordagem mostrou-se suficiente e foi dada sequência às próximas implementações.

### 3.3.8 Registro de Ações do Usuário

Para fazer o registro das ações do usuário, permitindo que no futuro possam ser feitas análises quantitativas e qualitativas das ações que os mesmos tiveram durante os testes, foram implementados dois sistemas de registro de ações, um para a movimentação e outro para os comandos utilizados pelo mesmo. Para conseguir reproduzir a movimentação do usuário, foi necessário gravar os seguintes dados:

- ***Tempo de Execução***: Tempo da atual da cena,
- ***Quadro***: Qual o quadro da gravação que está sendo reproduzido,
- ***Posição do Objeto do Usuário***: Vetor tridimensional contendo a posição do usuário,
- ***Rotação do HMD***: Quaternion[1] do óculos para saber para qual direção o usuário está olhando;

Com isso, é possível recriar o que o jogador estava vendo no tempo e como se movimentou para que se possa comparar com os outros usuários que fizeram os testes e com o jogador real que teve sua movimentação gravada. Segue na Tabela 3.1 um exemplo dos dados registrados.

Tabela 3.1 – Exemplo de registro de movimentação do usuário.

| **Tempo de Execução** | **Quadro** | **Posição do Objeto do Usuário** | **Rotação do HMD** |
|---|---|---|---|
| 44.32697 | 0 | (1.49, 1.15, 0.03) | (0.09271, -0.06420, -0.00461, 0.99361) |

*Continua na próxima página*

[1]Definição em https://docs.unity3d.com/6000.0/Documentation/ScriptReference/Quaternion.html

| **Tempo de Execução** | **Quadro** | **Posição do Objeto do Usuário (x, y, z)** | **Rotação do HMD (x, y, z, w)** |
|---|---|---|---|
| 44.3538 | 0 | (1.49, 1.15, 0.03) | (0.09006, -0.05509, -0.02954, 0.99397) |
| 51.96551 | 98 | (-1.01, 1.21, -2.91) | (-0.11891, 0.03492, 0.00273, 0.99229) |
| 65.04626 | 1123 | (-17.36, 1.58, 11.82) | (0.02998, 0.81926, 0.04724, -0.57069) |

Para saber como o usuário se comportou enquanto utilizava a ferramenta e para recriar ações que não envolvem a movimentação, foram registradas também as seguintes informações:

- ***Tempo de execução***: Tempo da atual da cena
- ***Quadro***: Qual o quadro da gravação que está sendo reproduzido
- ***Tipo de mensagem***: Foram quatro tipos de dados registrados:
  - ***Comando***: Comandos utilizados pelo usuário: (pause, resume, avançar/retroceder tempo, etc.)
  - ***Mensagem***: Mensagens mostradas ao usuário durante o período de teste
  - ***Info***: Registro de controle, escrito aos inícios e finais dos testes para ter controle dos cenários durante o processo de análise de dados.
  - ***Data***: Utilizada quando o usuário selecionar um jogador durante o cenário E.2.3. A posição do jogador e o nome do mesmo também serão registrados para que seja possível recriar a cena durante a análise dos dados.
- ***Conteúdo da mensagem***: Possui os dados relacionados ao tipo da mensagem.

Um exemplo de registro pode ser visto na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Exemplo de registro de comandos do usuário.

| **Tempo de Execução** | **Quadro** | **Tipo de Mensagem** | **Conteúdo da Mensagem** |
|---|---|---|---|
| 191.0102 | 6404 | DATA | Jogador selecionado; playerObject 15012; (28.92244.0.9528267,-5.851211); |
| 192.1803 | 6456 | COMANDO | TP Arquibancada |
| 192.2122 | 6458 | MENSAGEM | Utilize o Y para apagar as trajetórias |
| 194.814 | 6513 | COMANDO | Tempo Retrocedido |
| 194.8556 | 6491 | MENSAGEM | Utilize o botão A para Pausar / Resumir a cena |
| 194.8556 | 6491 | INFO | Teste 7 Finalizado |

Também se inseriu uma condição chamada *registro detalhado*, responsável por controlar a taxa de registro das ações do usuário. Durante períodos menos importantes, antes de iniciar, entre testes e períodos de treinamento, o sistema fará registro apenas 4 vezes por segundo, enquanto durante os períodos chamados "críticos"dos testes, onde o usuário está fazendo movimentos mais rápidos, os dados são capturados 15 vezes por segundo. Dessa maneira, evita-se que os arquivos sejam desnecessariamente grandes.

Esta foi a última grande implementação da ferramenta; após isso, iniciou-se o processo de planejamento do protocolo de testes e da execução dos experimentos.

# 4 PROTOCOLO DE TESTES

Neste capítulo serão apresentados o protocolo de testes, incluindo (1) a descrição de cada tarefa e seus respectivos objetivos, as hipóteses desse experimento, materiais e métodos, (2) a descrição da população selecionada para a aplicação dos experimentos e (3) os instrumentos de medida que foram aplicados para coletar dados quantitativos e qualitativos.

O processo de validação dos cenários de testes e das implementações realizadas durante o processo de criação da ferramenta está descrito nos Apêndices D, E e F, explicando como os testes foram elaborados, quais aspectos demandaram retrabalho e quais mudanças foram efetuadas.

Para avaliar se o usuário consegue se movimentar de forma coerente dentro do mundo virtual, estruturaram-se cenários que analisam a movimentação do usuário para futuramente comparar com a movimentação do jogador real. Eles consistem em manter o usuário visualizando o ponto de vista do jogador que se deseja comparar a movimentação, para adquirir contexto da jogada, por um tempo determinado, até que a jogada seja parada e o mesmo tenha que se movimentar assumindo o papel do jogador a quem ele assiste. Esses cenários foram chamados de cenários de movimentação. O critério de avaliação é definido como a similaridade de movimentação do jogador real com a do usuário, assumindo que quanto melhor a sua interpretação e tomada de decisão, mais similar será a sua movimentação.

Baseados nas contribuições de Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018), foram criados experimentos baseados em cenários de passes. Os testes consistem no usuário visualizar o ponto de vista de um jogador por alguns segundos, para que adquira contexto da jogada, até receber um passe. Nesse momento, a jogada é paralisada e o usuário deverá responder três perguntas-chave: Quem lhe fez o passe, quais as suas opções de passe e qual a sua escolha de passe final. Por se tratar de cenários com várias opções de passe, as melhores foram definidas pedindo a opinião de um ex-jogador profissional, que analisa a cena e atribui valores às melhores opções. Os critérios do usuário que são avaliados são o acerto de quem lhe tocou a bola e a nota baseada na escolha da sua opção de passe.

Para avaliar o uso da ferramenta para a visualização e análise imersiva, julgou-se necessário avaliar quais os métodos de visualização com maior aceitação e adesão pelos usuários. Para isso, também foi criado um cenário livre que consiste em dois atos. O primeiro é um momento de introdução a todas as funcionalidades da ISV, no qual instru-

ções são apresentadas, uma por vez, até que o usuário teste todas. Após isso, no segundo, o usuário utilizará a ferramenta de forma livre por um intervalo de tempo determinado para que, futuramente, tenha suas ações salvas e sejam comparadas com as técnicas mais utilizadas entre todos.

Conforme descrito por Harris et al. (2019), Wood et al. (2021), Gray (2017) e Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018), o indício mais forte de que um simulador possui validade e fidelidade suficientes para que o treinamento seja transferido para o mundo real é a comprovação da diferença de desempenho nas tarefas entre usuários com diferentes níveis de experiência. Como já explicado no Capítulo 2.5.3, ela é comprovada pela diferença de desempenho, ou seja, quanto maior o grau de expertise do usuário, melhor será o seu desempenho em comparação com aqueles que têm menor grau. Em um exemplo trivial, assim como profissionais têm melhor desempenho do que amadores no mundo real, essa superioridade também deverá ocorrer no simulador.

Por conta disso, uma parte fundamental da análise para validação do ambiente é buscar por esse indício. Outra parte fundamental é tentar identificar quais elementos foram prejudiciais para a imersão dos usuários na ferramenta, compreender como estavam se sentindo durante os testes, se estavam se sentindo pressionados e desconfortáveis, e se isso acabou por afetar o seu desempenho.

## 4.1 Hipóteses

Este experimento possui um caráter predominantemente exploratório, visando aprofundar a compreensão sobre a eficácia e as limitações da ferramenta em um contexto de uso mais abrangente. No entanto, espera-se observar tendências relacionadas ao desempenho dos usuários em função de sua familiaridade com o futebol e experiência prévia com realidade virtual, bem como a percepção geral de usabilidade e conforto do sistema. Por conta disso, elaboraram-se as seguintes hipóteses.

- **Hipótese H1**: Atletas profissionais terão melhor desempenho na realização das tarefas em comparação aos outros grupos;
- **Hipótese H2**: Os participantes que têm maior experiência no uso de óculos de realidade virtual ou em dispositivos semelhantes terão melhor desempenho na realização das tarefas;
- **Hipótese H3**: A idade dos participantes influenciará a sua progressão entre as tare-

Tabela 4.1 – Variáveis dependentes coletadas nos testes.

| **Variável** | **Tipo de Dado** | **Descrição / Registro** |
|---|---|---|
| Jogador escolhido (Teste 1) | Categórica | Jogador selecionado para a jogada, com base na percepção do participante. |
| Rotação da cabeça (ambos os testes) | Contínua | Dados dos ângulos de rotação nos eixos X, Y e Z ao longo do tempo. |
| Movimentação do avatar (Teste 2) | Contínua | Posição do jogador no espaço virtual (coordenadas X, Y, Z) registrada durante a movimentação. |
| Tempo de decisão | Contínua | Tempo entre o início da cena e a resposta ou ação do participante. |
| Opinião | Qualitativa | Opinião do participante sobre o uso da ferramenta (questionário pós-teste). |
| Sintomas de cybersickness | Quantitativo | Medição dos sintomas de cybersickness sentidos pelo usuário (medidos pelo questionário SSQ). |
| Esforço percebido | Qualitativa | Medição do esforço percebido pelo usuário (medido pelo questionário NASA TLX). |
| Usabilidade do sistema | Quantitativo | Medição da usabilidade do sistema pelo usuário (medida pelo questionário SUS). |

fas, interferindo no tempo dedicado à leitura da descrição das tarefas, na realização das tarefas e na avaliação do próprio desempenho no experimento;

- **Hipótese H4**: A experiência do usuário no domínio, isto é, a sua posição no futebol e o que é esperado do seu comportamento no jogo, influenciará a forma como ele encara e realiza as tarefas.

Tabela 4.2 – Variáveis independentes consideradas.

| **Variável** | **Tipo de Dado** | **Descrição / Registro** |
|---|---|---|
| Ordem de execução da tarefa | Ordinal | Alteração da ordem de execução das tarefas utilizando o método Latin Square. Para evitar o viés de aprendizado. |
| Experiência do usuário com o futebol | Qualitativa | A experiência e familiaridade prévia do usuário com o meio. Pode influenciar o desempenho do mesmo durante a realização das tarefas. |

## 4.2 Materiais e Métodos

Os testes foram executados em seções separadas. Para a realização dos testes, foram utilizados óculos Quest III. Os formulários foram preenchidos através de um notebook conectado à internet.

## 4.3 Condições Experimentais e Aparelhagem

As condições experimentais foram controladas para assegurar a consistência e a validade dos dados coletados. Os controles dos HMDs foram os principais dispositivos de interação. Um notebook conectado à internet foi utilizado para a apresentação dos formulários pré e pós-teste, bem como para o registro das ações dos usuários, conforme detalhado na Seção 3.3.8. As instruções foram fornecidas através de textos exibidos dentro do ambiente virtual com intervenções externas dos aplicadores apenas quando solicitadas pelos usuários.

## 4.4 Participantes

Este experimento contou com a participação de diferentes grupos, totalizando 27 participantes, a fim de obter uma avaliação diversificada da ferramenta. Uma seção incluiu 10 jogadores profissionais de futebol, com idades entre 21 e 30 anos e mais de 10 anos de experiência em treinamento de futebol. A maioria deles tinha pouca experiência com videogames e apenas dois haviam testado VR menos de cinco vezes. Outra seção foi composta por jogadores amadores de uma escola de futebol, com idades entre 12 e 15 anos e entre um e cinco anos de treinamento. Desses, seis tinham ensino fundamental incompleto (com exceção de um com ensino médio incompleto). Apenas dois haviam usado RV menos de cinco vezes, mas todos jogavam videogames com certa frequência, preferencialmente pelo celular. O treinador e seu auxiliar da escola também participaram, um de 24 e outro de 45 anos, ambos com mais de 10 anos de treino no futebol. Eles possuíam ensino superior e médio incompletos, respectivamente, e haviam usado RV menos de cinco vezes. Adicionalmente, foram realizadas seções com sete universitários que não faziam parte do público-alvo principal. A maioria possuía ensino superior incompleto, com alguns pós-graduandos. Dois deles tinham mais de 10 anos de treinamento durante

a juventude, e a maioria possuía alguma experiência com VR e jogava videogames.

## 4.5 Instrumentos de Medida

Abaixo são apresentados os instrumentos de medida que são objeto de análise no estudo, detalhando suas definições conceituais e operacionais, bem como a forma de mensuração adotada. Pela sua aplicação repetitiva, serão descritos abaixo para evitar repetições durante as descrições dos experimentos.

### 4.5.1 Desconforto e Enjoo

Para medir efeitos colaterais nos usuários obtidos durante a execução dos testes, será aplicado o formulário de *simulator sickness* (Enjoo causado pelo simulador) de Kennedy et al. (1993). É um tipo específico de *cybersickness* que ocorre em ambientes simulados, como em simuladores de direção ou de realidade virtual. Mesmo quando o usuário está fisicamente parado, a simulação pode induzir uma sensação de movimento que não corresponde à realidade. Isso é frequentemente causado por falhas na representação visual do movimento ou pela incapacidade do sistema de simulação de reproduzir com precisão as condições do mundo real.

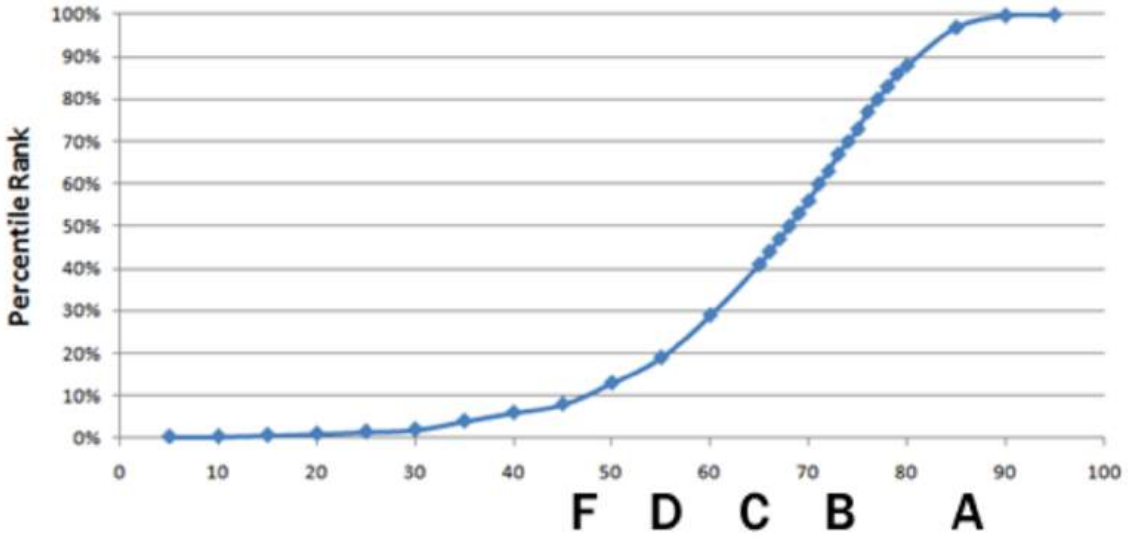
Difere-se do modelo proposto Reason and Brand (1975), que é referente ao enjoo de movimento que ocorre quando há uma discrepância entre os sinais visuais e vestibulares que o corpo recebe. Isso geralmente acontece em situações em que o corpo está em movimento (como em um carro ou barco), mas os olhos percebem um ambiente estático, levando a sintomas como náusea, tontura e sudorese (SILVA et al., 2017).

Serão aplicados antes e após os testes a fim de medir a obtenção de tais sintomas indesejados.

### 4.5.2 Usabilidade do Sistema

A escala de usabilidade do sistema (System Usability Scale), mais frequentemente referida como *SUS*, de Brooke (1986), é um protocolo de avaliação e classificação de ferramentas. Consiste em um questionário de 10 perguntas, cujas respostas são pontuadas em uma escala de 1 a 5, que avaliam a facilidade de uso, a eficiência e a satisfação geral

Figura 4.1 – Gráfico da curva do protocolo do SUS. No eixo X estão representadas as categorias em que a aplicação se enquadra.




Fonte: Sousa and Alves (2021).

com o sistema. Os parâmetros do SUS incluem a percepção de complexidade, a facilidade de aprendizagem e a satisfação do usuário. A pontuação final é calculada com base em uma fórmula específica, gerando um valor entre 0 e 100. Um valor acima de 68 é geralmente considerado bom, indicando que o sistema é eficiente e bem aceito pelos usuários, embora valores mais altos indiquem uma experiência ainda mais positiva. A Figura 4.1 mostra como as classificações percentuais se associam às pontuações do SUS e às notas das letras.

### 4.5.3 Carga de Trabalho

Para medir o esforço realizado pelo usuário durante a execução dos testes, aplicou-se o NASA Task Load Index (TLX), de Hart and Staveland (1988). É uma ferramenta amplamente utilizada para medir a carga de trabalho percebida por usuários durante a execução de tarefas, sendo especialmente relevante em avaliações de simuladores. Sua finalidade é quantificar o esforço mental, físico e temporal exigido, identificando fatores que impactam o desempenho e a experiência do usuário. Composto por seis dimensões (carga mental, carga física, carga temporal, desempenho, frustração e esforço), o NASA TLX fornece uma medida holística da carga de trabalho, permitindo otimizações no design de interfaces e simuladores para melhorar a usabilidade e a eficácia do sistema.

### 4.5.4 Movimentação e Ações do Usuário

O intuito é conseguir coletar dados para permitir a recriação da movimentação, do ponto de vista e das ações do usuário durante a execução das tarefas e, assim, permitir a comparação entre os dados do jogador real e dos outros usuários. A descrição da metodologia de implementação da coleta dos dados está descrita na Seção 3.3.8. Além disso, durante o experimento serão registradas as ações que os usuários tomarem envolvendo os controles. Toda vez que pressionarem algum botão, o mesmo será registrado. Durante o cenário dos testes de tomada de decisão, quando apontado para um jogador utilizando o gatilho indicador esquerdo, será registrado qual jogador foi apontado, para que seja analisada a correlação entre os formulários e o desempenho do usuário.

## 4.6 Descrição das Tarefas

Esta seção tem como finalidade explicar as tarefas e a ordem de execução de testes dos usuários.

### 4.6.1 Ordem de Aplicação dos Testes

A ordem de aplicação dos testes foi definida como a seguinte: testes de tomada de decisão, testes de movimentação e, por último, os testes livres, com todas as funcionalidades de forma estática, variando apenas a ordem de aplicação das tarefas, pois cada tarefa exige um treinamento próprio, e a ordem escolhida se deu com base na complexidade previamente julgada de cada tarefa.

As tarefas de tomada de decisão ficaram por primeiro, pois não possuem elementos de locomoção além da rotação da cabeça do usuário e apenas exigem a interação do usuário ao pressionar o gatilho indicador do dedo esquerdo e o botão A.

A tarefa de movimentação foi colocada em segundo lugar, já que a sua natureza é mais rápida e requer que o usuário se movimente dentro do ambiente virtual, e tal ação aumenta os sintomas de cybersickness.

Finalmente, os cenários de visualização, por permitirem funcionalidades não antes disponíveis nos testes anteriores, ficaram por último. Por conta das habilidades necessárias e das limitações impostas aos usuários em cada tarefa, principalmente na de

movimentação, não faria sentido ensinar a se mover para futuramente bloquear a funcionalidade quando o mesmo eventualmente fosse fazer os cenários de tomada de decisão. O mesmo serve para os testes livres, nos quais o usuário aprenderia a fazer *teleportes*, controlar o replay, entre outras funcionalidades que estão bloqueadas durante os cenários anteriores. Os detalhes sobre os cenários de teste serão discutidos nas subseções a seguir.

### 4.6.2 Pré-Cenários de Passe

Para preparar os usuários para as tarefas, cada teste possui um pré-treinamento. O primeiro pré-treino é para o teste de tomada de decisão, no qual o usuário deverá se adaptar à movimentação com o HMD e os controles, tendo de se mover nas quatro direções e girar para ambos os lados.

### 4.6.3 Cenários de Passe

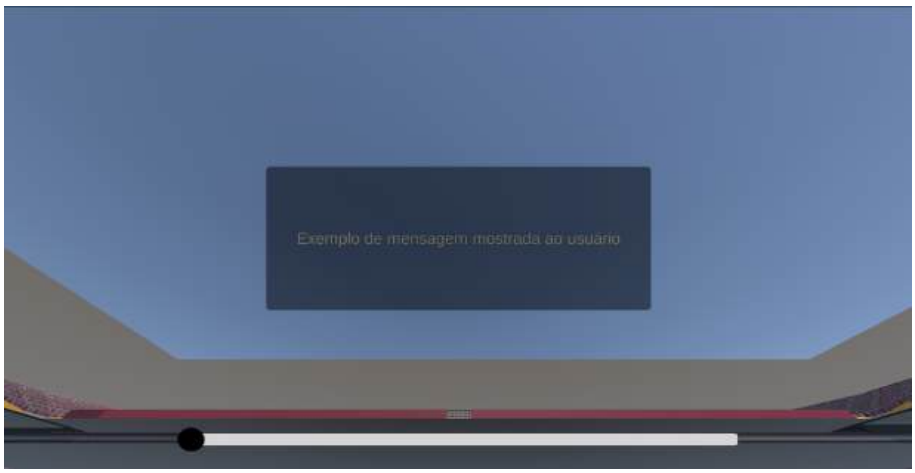
Os cenários de passe, também chamados de testes de tomada de decisão, terão a ordem de cada lance dada baseada na posição *latin square* para evitar o viés de aprendizado. Cada cenário será explicado individualmente mais abaixo.

Ao início do cenário, o jogador visualizará por 10 segundos a cena do ponto de vista do jogador escolhido até receber um passe. Recebendo, deverá responder utilizando os controles a 3 perguntas que serão apresentadas na sua frente, em um canvas, como ilustrado na Figura 4.2. As perguntas são:

- Utilizando o Gatilho Indicador Esquerdo Aponte:
    - Quem tocou a bola para você?
    - Quais opções de passe você tem?
    - Qual a sua escolha de passe para esse lance?

Para avaliar o desempenho das tarefas de passe, solicitou-se a um ex-jogador profissional a avaliação das melhores opções de passe para cada um dos 6 cenários. A primeira interação não requer nenhuma avaliação, pois é uma informação factual: jogador X tocou para o Y. A segunda interação, "quais opções de passe", não foi considerada para o score final, pois alguns usuários poderiam se beneficiar escolhendo mais ou menos jogadores, por não haver uma quantidade fixa ou mínima de escolhas, um usuário que

Figura 4.2 – Canvas desenvolvido para exibir mensagens aos usuários. A figura representa a visão do usuário durante a exibição de uma mensagem.




acertou o passe seria prejudicado em comparação com um que pontuou várias opções. Para a identificação das escolhas de passe, em cada cenário, o mesmo deveria avaliar qual a melhor opção, opções razoáveis e opções ruins. A nota final consiste na soma do acerto de quem tocou a bola com o valor da escolha de passe.

**Cenário 0**: O usuário assume o papel do jogador 66 azul. Este é o cenário mais complexo, devido à grande distância entre os jogadores envolvidos e ao ângulo de visão limitado do usuário. Isso se dá pelo fato do passe ser feito de muito longe pelo jogador 14 do time azul, fora do ângulo de visão do usuário. É possível comparar nas Figuras 4.3 o momento inicial do passe e 4.4 o momento final, o grande deslocamento do jogador que o usuário deverá representar. A Figura 4.5 também mostra a visão do usuário no início do teste, onde ele está de costas para o início da jogada, o que exige que o usuário roteie e busque o jogador que executou o passe. A escolha deste lance se deve à sua complexidade, que exige o esforço do usuário para compreender o contexto da jogada e tomar a sua decisão, e, assim, avaliar o impacto da complexidade no desempenho dos usuários.

O jogador que efetuou o passe para o jogador-alvo é o 14 azul. As escolhas que foram julgadas melhores para o lance, baseadas na opinião do profissional são:

- 10 pontos: 11 azul;
- 8 pontos: 8 azul;
- 5 pontos: 9 azul;
- 1 ponto: 14 e 10 azul;

Figura 4.3 – Cenário de tomada de decisão 0: visão ampla do início do cenário, mostrando todos os jogadores envolvidos. A seta amarela indica a trajetória da bola; a seta azul indica a movimentação do jogador 66, do qual o usuário observa o ponto de vista.

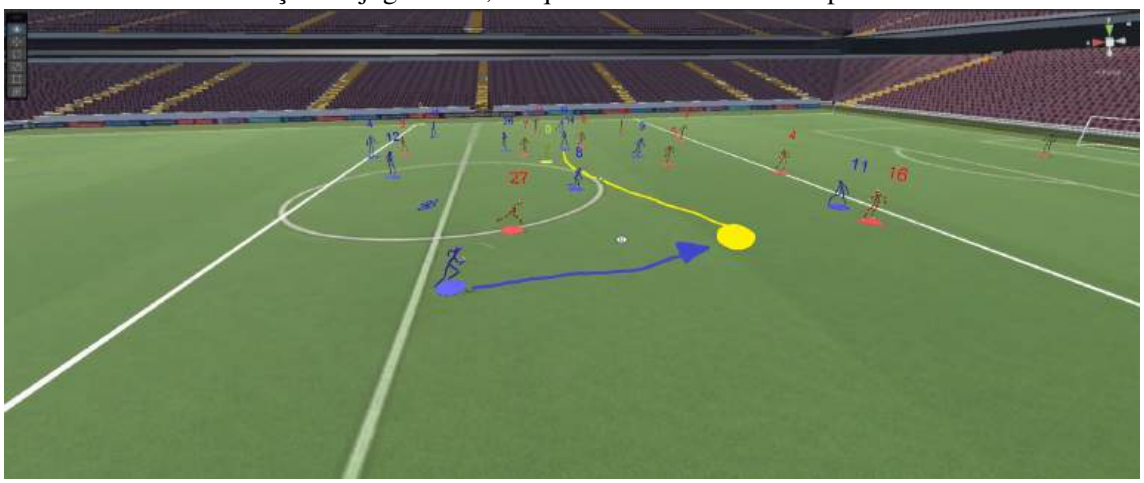
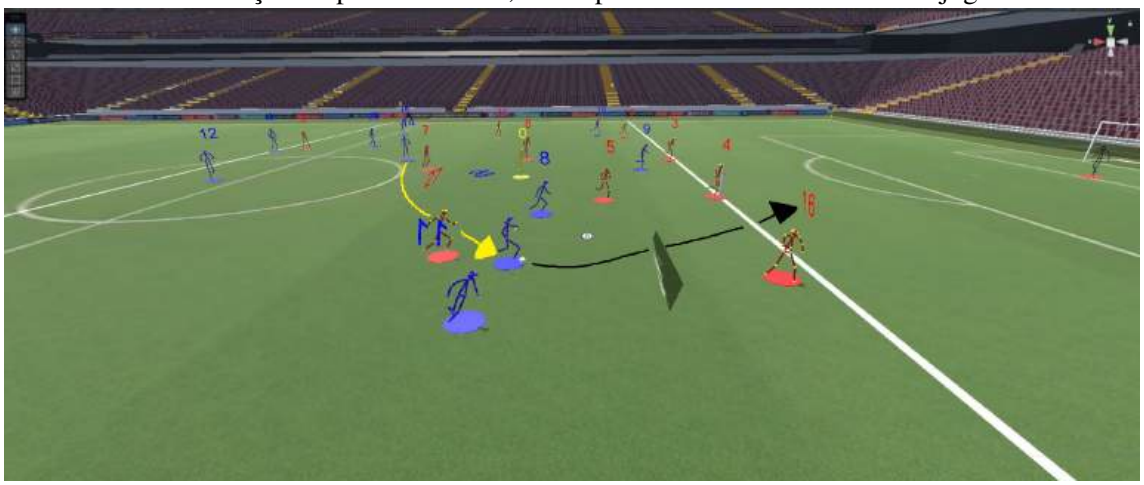


Figura 4.4 – Cenário de tomada de decisão 0: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.



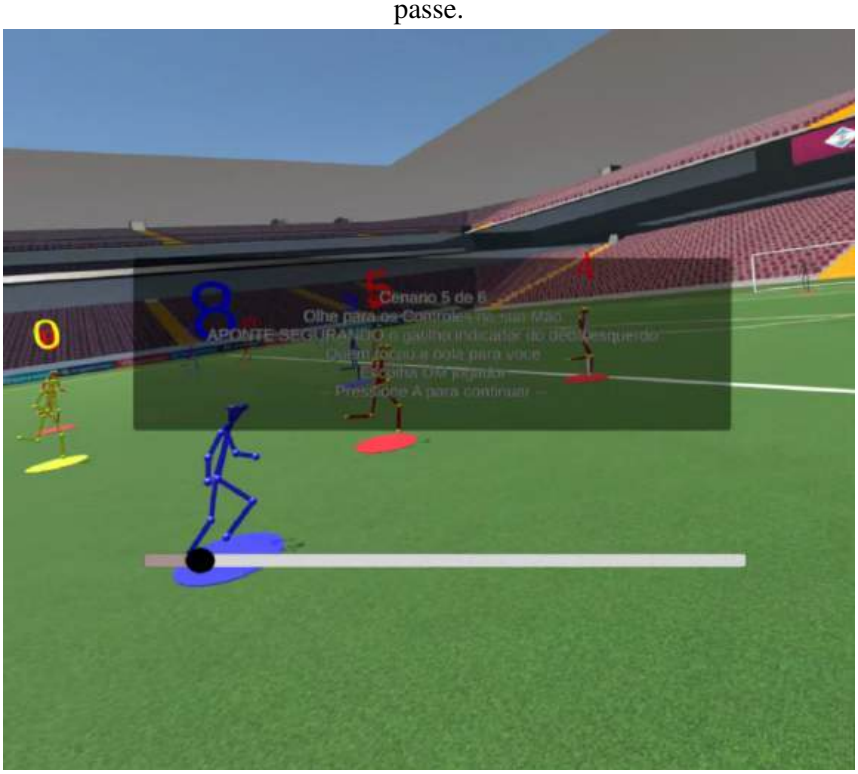
**Cenário 1**: Nesse lance, o usuário assume o papel do jogador 10 azul. O passe é realizado pelo jogador 26 dentro do campo de visão inicial do usuário, como ilustrado na Figura 4.7. No ângulo aberto, é possível ver que a melhor decisão de passe é o jogador 9 azul, mas, para ele ser visto, requer que o usuário olhe 180° para trás. Conforme aparente na Figura 4.6.

As melhores escolhas de passe para esse lance são:

- 10 pontos: 9 azul,
- 8 pontos: 15 e 26 azul

**Cenário 2**: Neste lance, o usuário assume o papel do jogador 14 azul. O passe é executado pelo jogador 8 azul no seu campo de visão, como é possível ver na Figura 4.9. O desafio desse lance é olhar para os lados para identificar as melhores opções de passe,

Figura 4.5 – Cenário de tomada de decisão 0: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.



como é possível ver na Figura 4.8.

As melhores escolhas de passe para esse lance são:

- 10 pontos: 26 azul,
- 8 pontos: 8 azul,
- 6 pontos: 9 azul,
- 4 pontos: 66 azul,
- 3 pontos: 15 e 12 azul

**Cenário 3**: Neste lance, o usuário assume o papel do jogador 12 azul. O passe é realizado pelo jogador 26 azul, que não está no campo de visão, como é possível ver na Figura 4.11. Isso exige que o usuário esteja prestando atenção na jogada. A dificuldade também é aumentada, pois o jogador 4 azul está próximo, como é possível ver na Figura 4.10.

As melhores escolhas de passe para esse lance são:

- 10 pontos: 8 e 66 azul,
- 6 pontos: 9 azul,
- 5 pontos: 14 azul,
- 2 pontos: 4, 26 e 11 azul,

Figura 4.6 – Cenário de tomada de decisão 1: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.



**Cenário 4**: Neste cenário, assim como no anterior, o jogador recebe a bola e faz um giro, como é possível ver na Figura 4.13. Neste lance, as opções estão mais espaçadas, então é esperado que haja maior variedade nas escolhas, como é possível ver na Figura 4.6.

As melhores escolhas de passe para esse lance são:

- 10 pontos: 26 azul,
- 8 pontos: 15 e 9 azul,
- 4 pontos: 4 azul,
- 2 pontos: 10 e 11 azul,

**Cenário 5**: Neste cenário, o jogador assume o papel do jogador 3 vermelho, recebendo um passe vindo da lateral do campo no seu campo de visão, como pode ser visto na Figura 4.15. Neste lance, a escolha mais simples é a mais adequada. Ao olhar para o seu lado esquerdo, ele consegue ver o jogador 4 vermelho, que é a opção mais adequada de passe, como ilustrado na Figura 4.14.

As melhores escolhas de passe para esse lance são:

- 10 pontos: 4 vermelho,
- 7 pontos: 27, 5 e 8 vermelho,
- 6 pontos: 15 vermelho,
- 5 pontos: 13 vermelho,
- 4 pontos: 16 vermelho,
- 3 pontos: 9 e 14 vermelho,

Figura 4.7 – Cenário de tomada de decisão 1: Ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.



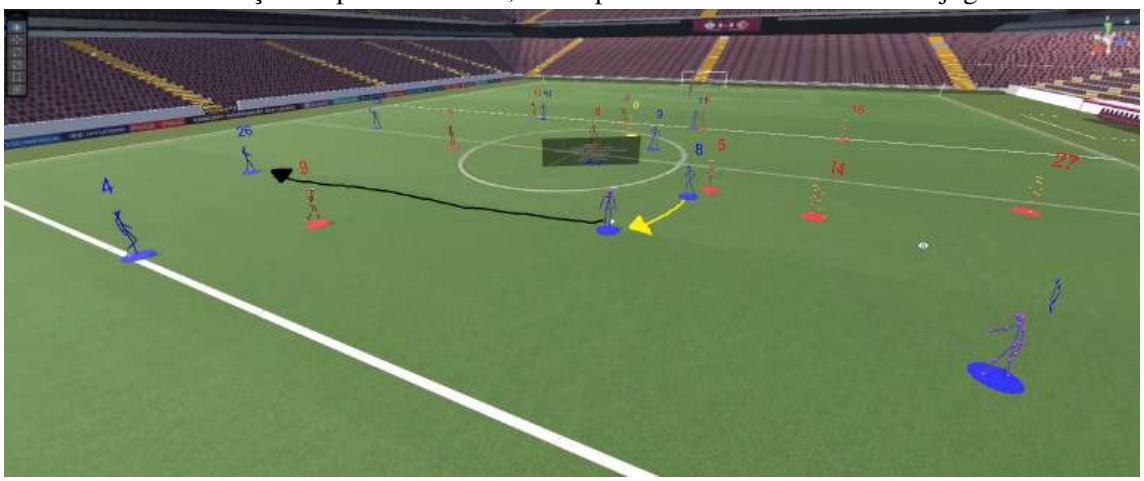

### 4.6.4 Pré-Cenário de movimentação

Após os cenários de passe, o usuário fará o treinamento de movimentação. Ele consiste no usuário posicionado em uma extremidade da linha do meio-campo olhando para a outra lateral do campo, e é instruído a tentar manter-se andando em linha reta enquanto mantém sua visão fixa na bola. Espera-se que o mesmo desenvolva prática com a movimentação para prosseguir ao teste de movimentação, como é possível ver na Figura 4.16.

### 4.6.5 Cenários de Movimentação

A recriação dos dados tridimensionais em um ambiente imersivo permite que o usuário se mova livremente durante a partida. Contudo, uma limitação e um desafio na

Figura 4.8 – Cenário de tomada de decisão 2: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.



escolha dos cenários é a ausência de suporte para que o usuário possa interagir com a bola, pois se trata de uma gravação. Por conta disso, os cenários precisaram ser escolhidos de modo que o usuário participasse indiretamente da jogada, marcando, pressionando e se posicionando, sem poder interagir diretamente com a bola. Desta forma, foram definidos 3 cenários para o usuário se movimentar, um defendendo como um meio-campista, outro pressionando a defesa adversária como um atacante e o último atacando a área como um atacante. Para cada cenário, o usuário assistirá à cena por 10 segundos. E serão gravados 5 segundos de movimento para a avaliação.

Pela natureza subjetiva da movimentação, o critério de avaliação escolhido para essas tarefas é a similaridade entre a movimentação do jogador real e a do usuário. Mesmo sendo subjetivo, buscar-se-á entender as diferentes movimentações e seus propósitos. Não será avaliado de forma qualitativa como foi feito nos testes de passe.

**Cenário de movimentação 1**: O usuário assume o controle do jogador número 5 do time vermelho, fazendo a função de um meio-campista defensivo, como se pode ver na Figura 4.17. Na cena real, este jogador movimenta-se na direção da bola a fim de não permitir a finalização do jogador adversário. É uma cena que exige uma reação mais rápida devido à sua velocidade. O usuário inicia o teste com a bola em seu campo de visão, como se vê na Figura 4.18.

**Cenário de movimentação 2**: O segundo cenário de movimentação apresenta uma situação mais complexa do que os demais. Antes de explicar o contexto da jogada, é necessário entender o fundamento da pressão sobre o time adversário, muito importante e presente no futebol. A pressão no futebol consiste em uma estratégia defensiva muito popular, na qual uma equipe busca limitar o tempo e o espaço disponíveis para

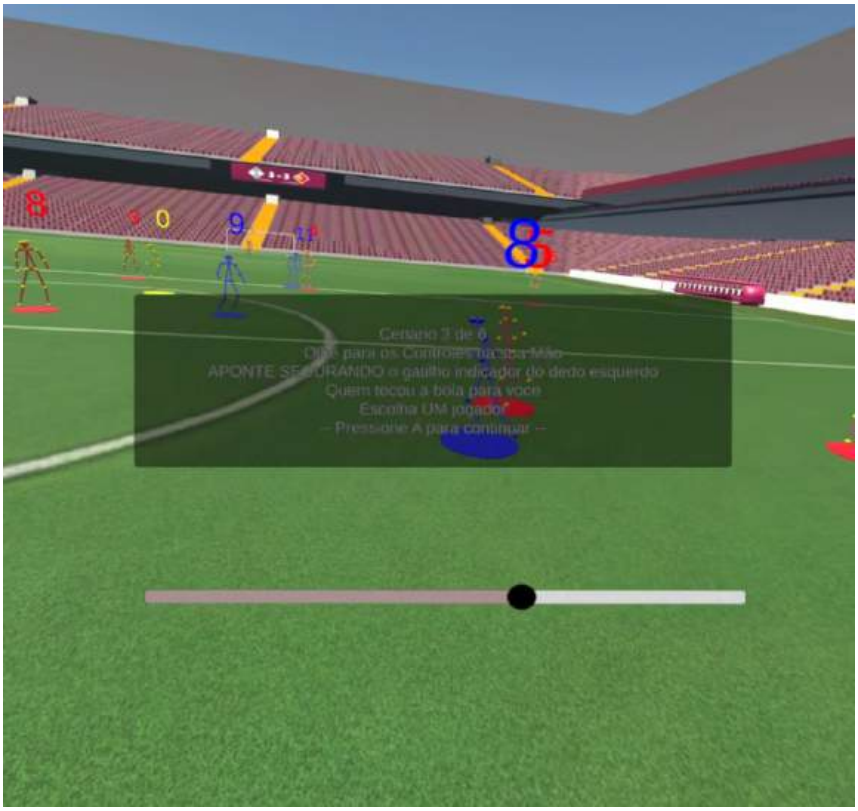



Figura 4.9 – Cenário de tomada de decisão 2: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.

a equipe adversária, com o objetivo de induzir erros ou recuperar a posse de bola de maneira mais rápida e eficiente. Essa abordagem pode ser implementada em diferentes regiões do campo e com variados graus de intensidade, conforme o sistema tático adotado pela equipe. O princípio básico da pressão envolve uma combinação de marcação individual e cobertura de espaços, em que os jogadores se posicionam de forma a obstruir as linhas de passe mais óbvias, ao mesmo tempo que pressionam o portador da bola, reduzindo suas opções de progressão. Para que a pressão seja eficaz, é essencial que haja uma coordenação coletiva bem estruturada, garantindo que os jogadores avancem de maneira sincronizada, sem deixar adversários desmarcados em zonas perigosas. Quando executada corretamente, a pressão pode forçar o time adversário a cometer erros, como passes imprecisos ou chutes longos sem objetivo tático, além de possibilitar a recuperação da bola em zonas mais avançadas do campo, o que favorece a transição para o ataque. No contexto da análise em questão, a pressão aplicada sobre o goleiro e os defensores tem como principal finalidade dificultar uma saída de bola organizada, aumentando a probabilidade de um passe mal executado ou de um clearance desesperado, situações que podem ser exploradas pela equipe que exerce a pressão.

Com isso explicado, a Figura 4.20 representa o momento em que a jogada é in-



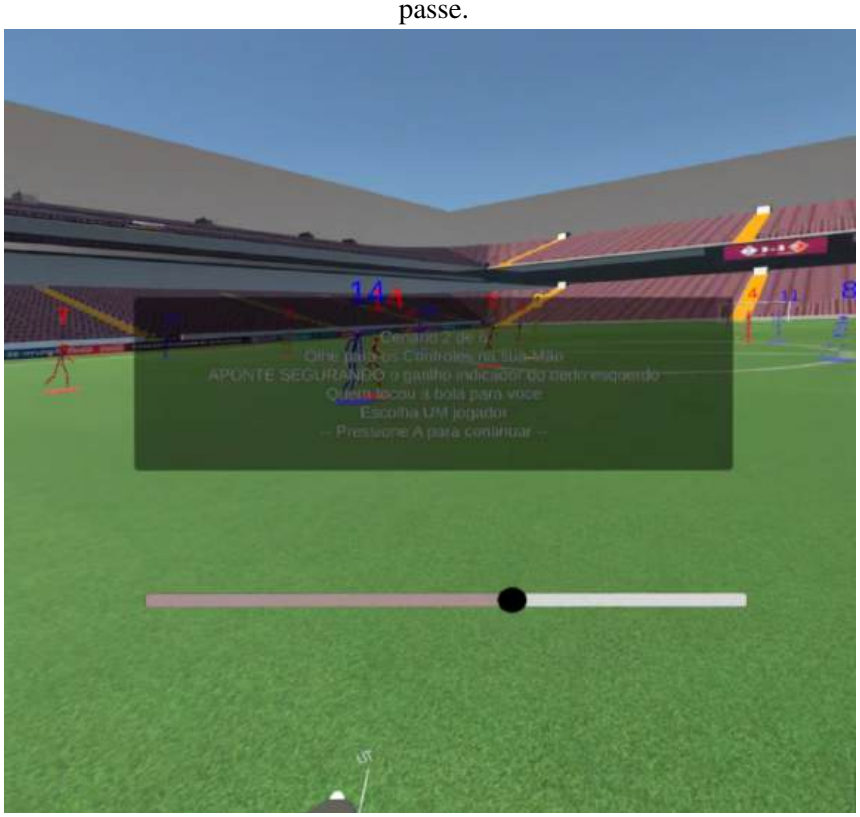

Figura 4.10 – Cenário de tomada de decisão 3: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.

terrompida, quando a bola é recuada pelo defensor vermelho (jogador 3) para o goleiro (jogador 1). Nesse contexto, o usuário assume o controle do jogador 10 da equipe azul, um atacante cuja função consiste em exercer pressão sobre a saída de bola adversária. Uma estratégia taticamente adequada para a equipe azul envolve estabelecer uma marcação de pressão individualizada (1:1). Esse posicionamento pode ser alcançado mediante as seguintes ações: o jogador azul 11 marca o vermelho 4, o azul 9 assume a marcação do vermelho 5, e o azul 15 pressiona o goleiro 1 vermelho, conforme indicado nas setas verdes da Figura 4.19. Nessa configuração, os jogadores vermelhos 3, 8 e 13 estariam desmarcados. Portanto, caso o usuário optasse inicialmente por marcar um desses três jogadores, sua decisão seria considerada correta do ponto de vista tático.

No entanto, para maximizar a eficácia da pressão, potencialmente forçando uma ligação direta do goleiro, a abordagem mais eficiente consiste no usuário (jogador azul 10) assumir a marcação do jogador vermelho 3, liberando assim o jogador azul 15 para pressionar diretamente o goleiro adversário. Um dos problemas identificados nos dados registrados reside no fato de que o jogador azul 15 não executou essa leitura tática adequadamente, mantendo-se na marcação do jogador vermelho 8. Essa falha demanda que o usuário (jogador azul 10) assuma obrigatoriamente a marcação do jogador 3, justificando a correção de trajetória observada em diversos usuários (que será apresentada na sequência), os quais inicialmente se direcionaram para cima, mas posteriormente ajustaram seu movimento, conforme evidenciado na Figura 5.10.

Diante disso, é compreensível que as movimentações não sejam uniformes, uma vez que, com a jogada paralisada, a desmarcação do jogador vermelho 8 torna-se evidente e sua marcação representa uma decisão válida. Por outro lado, movimentações

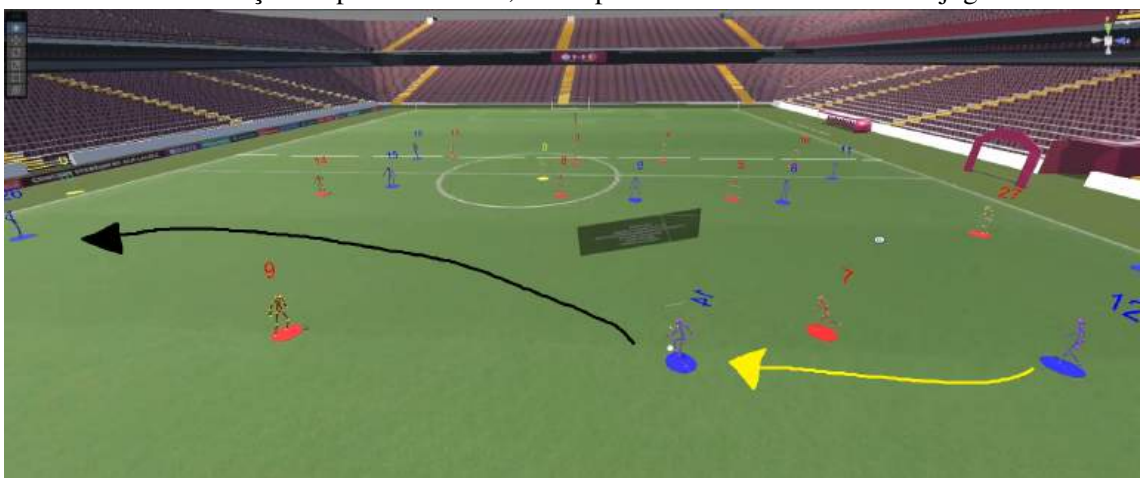
Figura 4.11 – Cenário de tomada de decisão 3: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.



inadequadas incluem abandonar o campo de jogo ou deslocar-se em direção oposta à da bola. As dificuldades em corrigir a trajetória podem ser atribuídas à baixa familiaridade com os controles ou a uma interpretação insuficiente da dinâmica da jogada, embora seja complexo determinar a causa específica sem dados adicionais.

**Cenário de movimentação 3**: Este é um cenário de ataque no qual o usuário deverá se posicionar na área a fim de receber um cruzamento. A interpretação que deverá ser feita nesse pelos usuários é identificar qual a direção da jogada, permitindo movimentar-se a tempo de se posicionar na área, em posição legal, para tentar um cabeceio. Esse posicionamento pode envolver tanto ficar na marca do pênalti esperando uma bola alta, ir para o fundo da área esperando uma bola sobrada ou se mover na direção da bola buscando antecipar o cruzamento, esse último sendo a leitura mais correta, uma vez que o jogador de referência ficou posicionado na marca do pênalti e o cruzamento foi cortado por um defensor antes de chegar nele. Nesse lance não é necessário exercer pressão ou marcação, pois é um lance ofensivo.

Figura 4.12 – Cenário de tomada de decisão 4: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.



### 4.6.6 Cenário de Visualização

O cenário de visualização, realizado na fase final do experimento, visa capturar o interesse e a interação espontânea dos usuários com todas as funcionalidades da ferramenta. Não há uma avaliação de desempenho formal, mas sim um registro das ferramentas utilizadas, do tempo de interação com cada uma e dos padrões de navegação. Esta seção é importante para identificar quais funcionalidades são mais intuitivas e atrativas para os diferentes perfis de usuários (jogadores profissionais, amadores, universitários), fornecendo insights sobre o potencial de aplicação da ferramenta para além dos cenários de treinamento predefinidos. O objetivo é compreender as preferências do usuário, o que pode direcionar desenvolvimentos futuros e otimizar a experiência geral na plataforma.

Figura 4.13 – Cenário de tomada de decisão 4: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.




Figura 4.14 – Cenário de tomada de decisão 5: visão ampla do final do cenário. A seta amarela indica a direção do passe recebido; a seta preta indica a escolha real do jogador.



Figura 4.15 – Cenário de tomada de decisão 5: ponto de vista do usuário durante a recepção do passe.



Figura 4.16 – Treinamento pré-cenários de movimentação. O canvas no centro da tela possui as instruções do usuário. Ao fundo, é possível ver um indicador com texto para facilitar a compreensão da tarefa.



Figura 4.17 – Cenário de movimentação 1: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do jogador vermelho mostrado no centro da imagem.

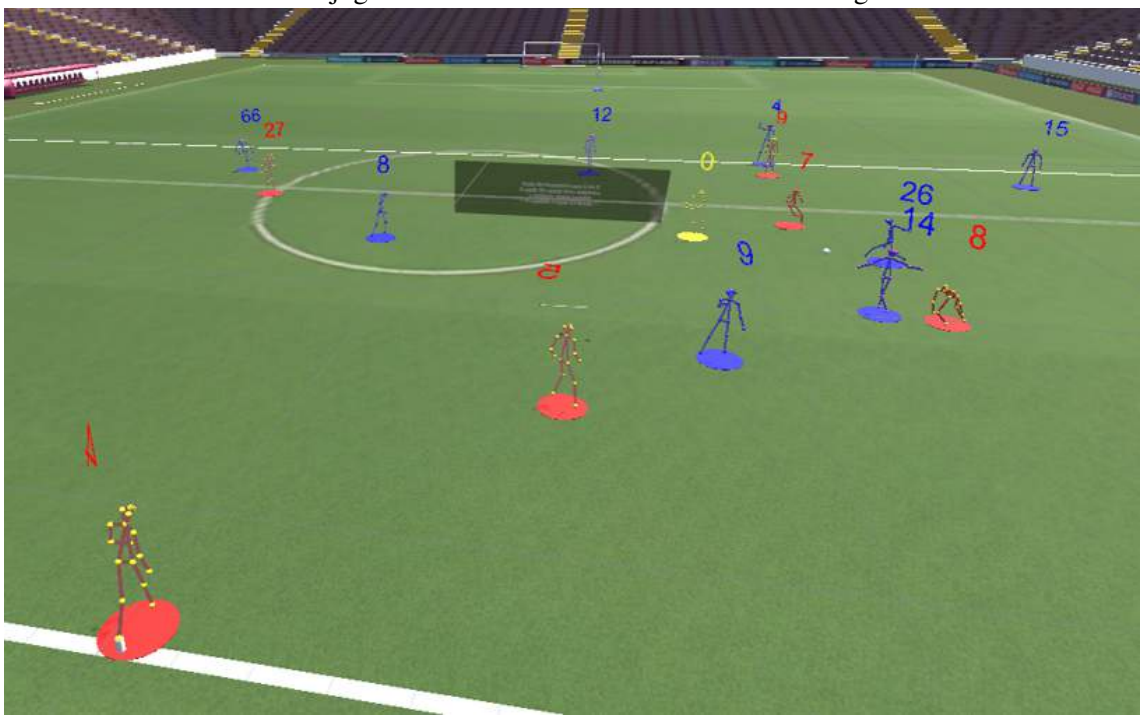



Figura 4.18 – Cenário de movimentação 1: visão em primeira pessoa.

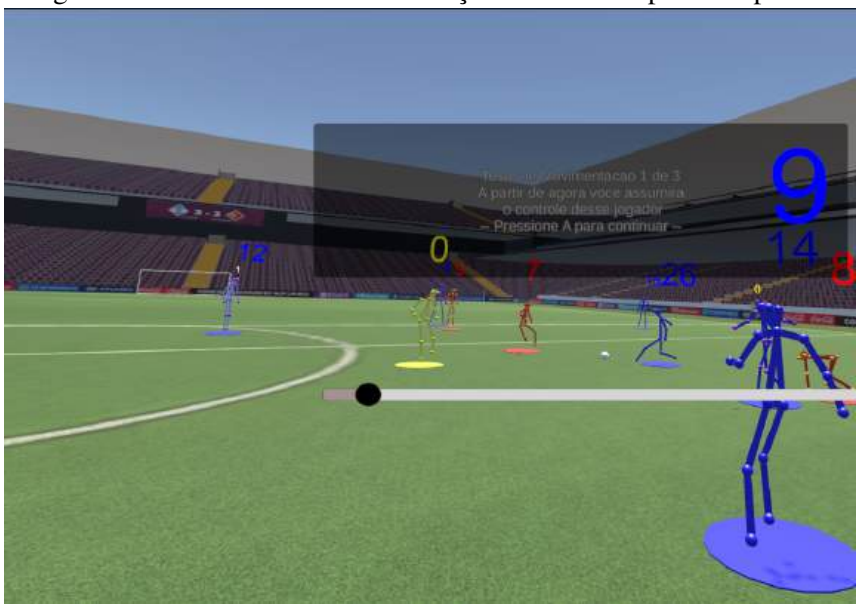


Figura 4.19 – Cenário de movimentação 2: posição inicial dos jogadores com setas indicando as movimentações para aplicar pressão no time adversário. As setas verdes indicam o encaixe ideal da marcação de pressão; dessa forma, todos os jogadores vermelhos próximos da bola (quadrado amarelo) estariam com suas linhas de passe obstruídas.



Figura 4.20 – Cenário de movimentação 2: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do número 10 do time azul.

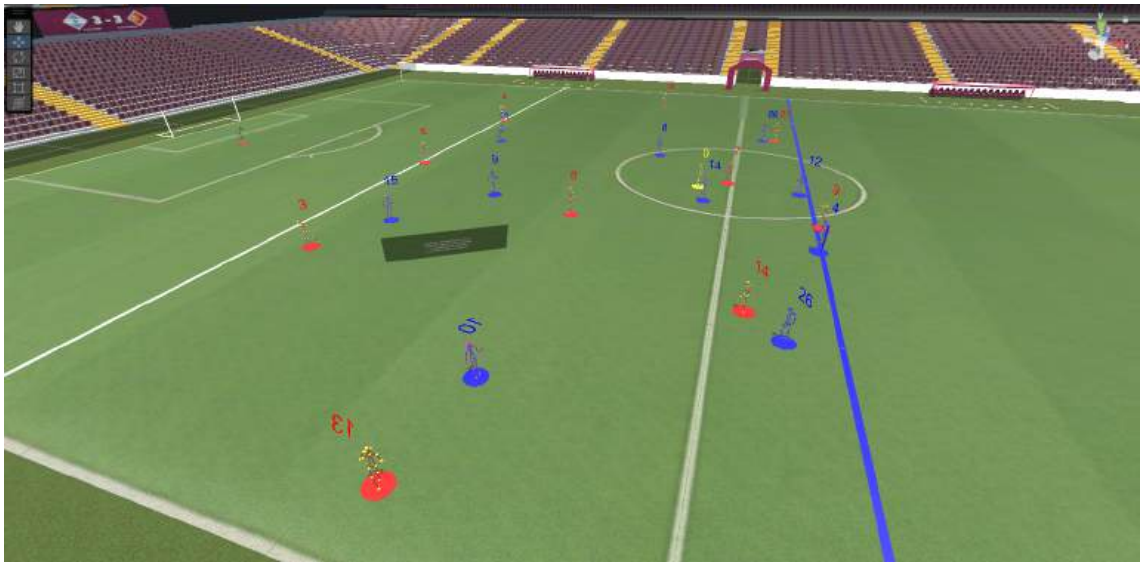


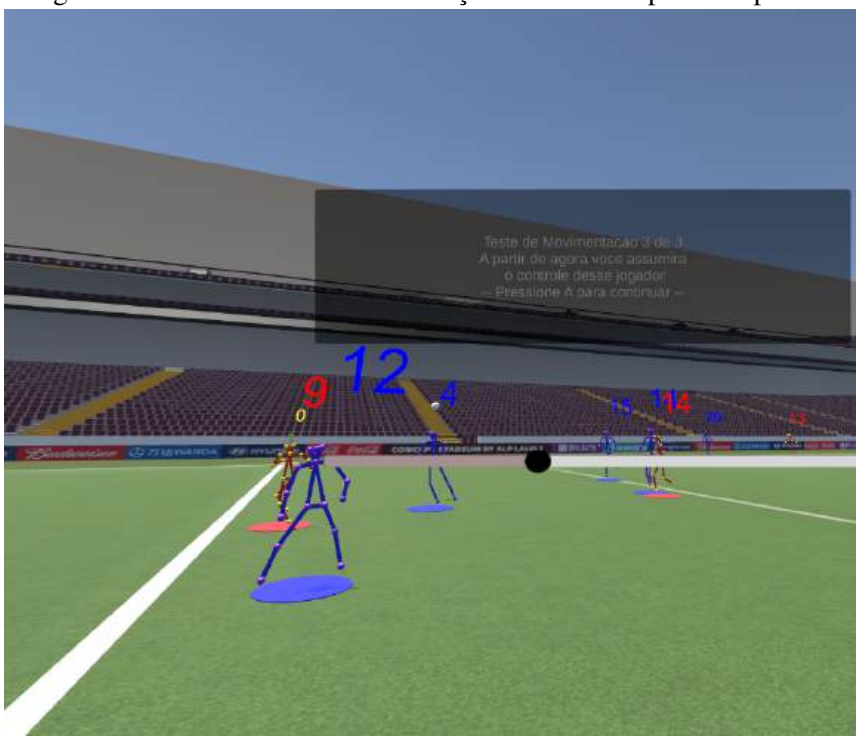
Figura 4.21 – Cenário de movimentação 2: visão em primeira pessoa.




Figura 4.22 – Cenário de movimentação 3: ângulo de visão aberto. O usuário observa o ponto de vista do segundo jogador vermelho da esquerda para a direita, próximo ao meio-campo.



Figura 4.23 – Cenário de movimentação 3: visão em primeira pessoa.



# 5 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dos experimentos descritos no capítulo anterior. Serão apresentados os formulários, os resultados dos cenários de movimentação e de tomada de decisão. Após isso, serão apresentados os resultados dos testes de movimentação e dos casos de uso que foram definidos.

## 5.1 Formulários de Avaliação da Aplicação dos Testes

Abaixo serão apresentados os resultados dos formulários aplicados nos pós-testes. Os resultados do protocolo de usabilidade **(SUS)** podem ser encontrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Experimento principal: resultado do protocolo SUS.

| Grupos | SUS Score |
|---|---|
| Profissionais | 59.25 |
| Universitários | 71.01 |
| Sub-16 | 59.06 |
| Treinadores | 53.75 |
| Média | 63.43 |

Conforme é possível observar na Figura 5.1, os resultados do SUS indicam diferenças significativas na percepção de usabilidade entre os grupos avaliados. O grupo de universitários obteve o melhor desempenho, com um score de 71.01, classificado como "Bom (B)". Isso pode ser devido às seções de aprimoramento da aplicação realizadas terem sido feitas com esse grupo, e também ao fato de que a linguagem e a forma como as tarefas eram apresentadas pudessem ser mais familiares para eles.

Por outro lado, os grupos de Profissionais (59.25), Sub-16 (59.06) e Treinadores (53.75) ficaram na faixa "Regular (C)", indicando uma experiência mediana, com possíveis dificuldades de uso. O desempenho mais baixo foi o dos treinadores, que quase caíram na classificação "Ruim (D-F)", o que aponta para problemas mais críticos de usabilidade para esse perfil de usuário.

A média geral (63.43) também se enquadra na categoria "Regular (C)", reforçando que, embora o sistema seja utilizável, ele apresenta limitações que impactam negativamente a experiência do usuário. Esses resultados sugerem que melhorias, como validações de protótipo com o público-alvo, da mesma forma que foram feitas com os universitários, possam ajudar a identificar essas oportunidades.

O resultado do formulário do SSQ está ilustrado na Figura 5.2. Percebe-se que o

Figura 5.1 – Experimento principal: resultado do protocolo SUS em comparação com a referência.

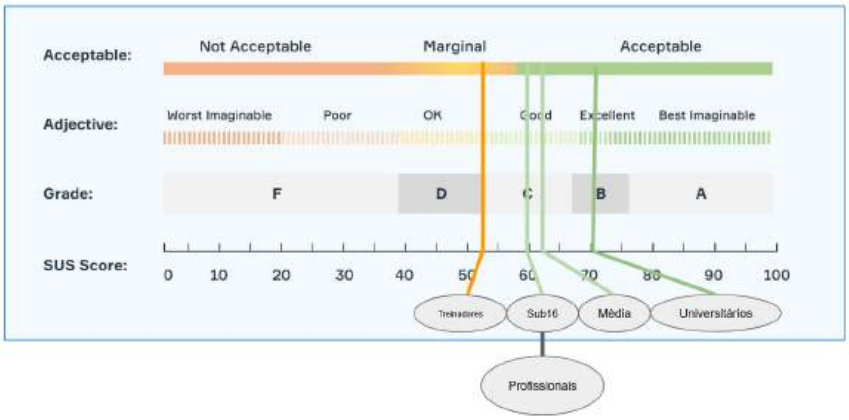
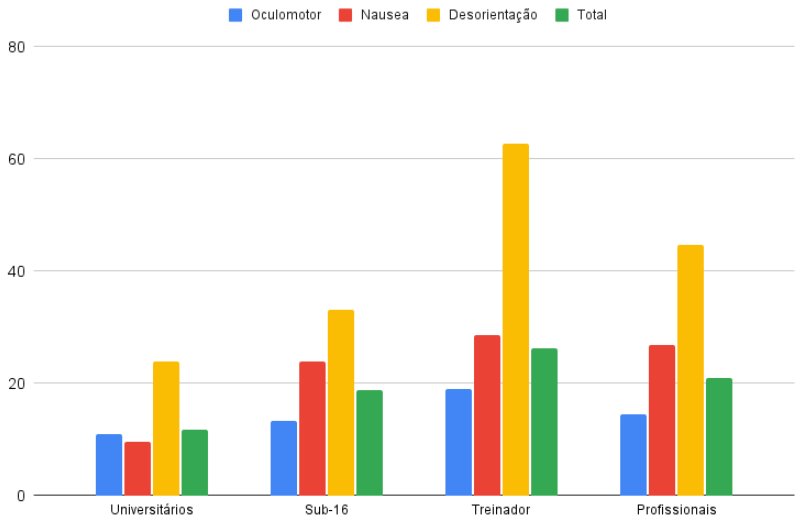



Figura 5.2 – Experimento principal: resultado do SSQ dividido em suas categorias.




grupo dos universitários, em comparação com os outros, quase não desenvolveu sintomas de cybersickness.

Os dados medidos pelo **TLX** podem ser observados nas Figuras 5.3 e 5.4. É possível perceber que os universitários tiveram um esforço percebido menor do que os outros grupos.

Através do mesmo formulário, coletaram-se as respostas às **questões objetivas** relacionadas ao uso da ferramenta e à execução dos testes. Para facilitar a organização, as perguntas e respostas estão divididas em três tabelas. Optou-se por fazer dessa maneira, pois as perguntas eram muito mais extensas que as respostas, dificultando a sua leitura se colocadas por extenso. A Tabela 5.2 apresenta a relação entre a letra que aparecerá na Tabela 5.3 e a sua respectiva pergunta. Os comentários opcionais deixados pelos usuários estão disponíveis na Figura 5.4.

Figura 5.3 – Experimento principal: resultado do TLX dividido por grupos.

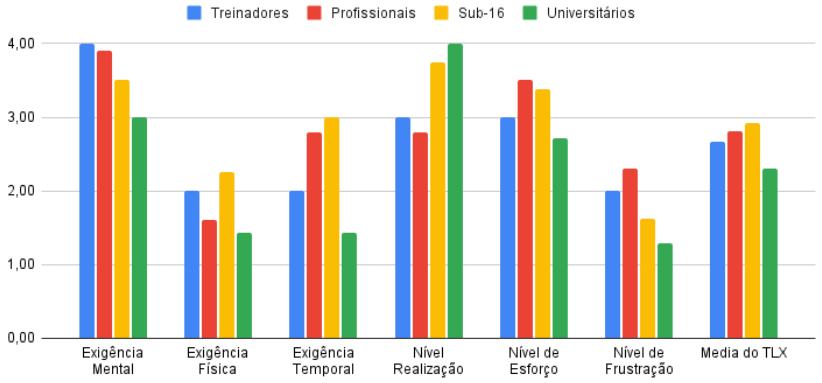



Figura 5.4 – Experimento principal: resultado do TLX entre universitários e profissionais.

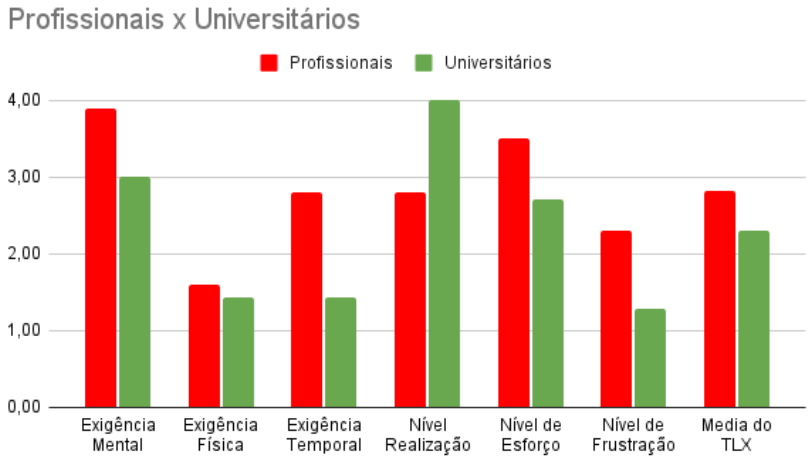


Tabela 5.2 – Experimento principal: legenda das perguntas da Figura 5.3.

| Letra | Pergunta |
|---|---|
| A | Utilizaria a ferramenta para treinamento pessoal? |
| B | Por que? |
| C | Ao visualizar o Ponto de Vista do Jogador, o movimento que o mesmo fazia com a cabeça prejudicou a sua experiência? (1=Não prejudicou, 5=Prejudicou muito) |
| D | A visualização de jogadores palito prejudicou a compreensão da cena? (1=Não prejudicou, 5=Prejudicou muito) |
| E | O quão fácil foi identificar a diferença entre as equipes? (1=Muito difícil, 5=Muito fácil) |
| F | O quão fácil foi localizar o lado de ataque da sua equipe? (1=Muito difícil, 5=Muito fácil) |
| G | Foi fácil de identificar a profundidade da cena e o quão distantes os jogadores estavam? (1=Muito difícil, 5=Muito fácil) |

## 5.2 Treinamento

Nesta sessão serão apresentados os resultados referentes à aplicação da ferramenta para o treinamento de atletas.

### 5.2.1 Cenário de Movimentação 1

A análise da movimentação de grupos de usuários é complexa e, com o objetivo de agrupar comportamentos semelhantes de forma visual e facilitar a interpretação dos resultados, as figuras dessa seção apresentam envoltórias convexas ao redor das trajetórias dos usuários. Antes disso, a fim de dar maior contexto sobre a movimentação dos outros jogadores durante a jogada, na Figura 5.6 apresentam-se as trajetórias, juntamente com as posições finais dos usuários. Pode-se argumentar que, por mais que a movimentação ideal para o lance seja a movimentação capturada do jogador real, usuários que optaram por marcar os jogadores Azuis números 8 e 9 não estão totalmente equivocados. Já para jogadores que se movimentaram na direção oposta à que a bola seguia, pode-se dizer que demoraram a iniciar a movimentação após a cena ser retomada, o que os deixou atrasados e impediu que se posicionassem adequadamente, exigindo uma tomada de decisão diferente. A outra possibilidade é que não entenderam qual a tarefa que deveria ser executada, o que será discutido na Seção 6.1.5.

Após entender o contexto e a movimentação final dos jogadores reais, torna-se

Tabela 5.3 – Experimento principal: respostas da pesquisa por grupo de participantes. Tabela com as respostas das questões objetivas. As colunas cor e número são para a identificação e controle dos usuários.

| Grupo | Cor | Nº | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Treinador | laranja | 29 | Sim | "Raciocínio rápido lógico" | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Treinador | verde | 8 | Sim | "Por ter vários ângulos de jogo" | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 |
| Profissional | laranja | 33 | Sim | "Me ajudaria a melhorar" | 3 | 1 | 4 | 5 | 3 |
| Profissional | verde | 16 | Sim | "Me ajuda cognitivamente" | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Profissional | laranja | 34 | Não | "nao pelo mal estar que senti" | 1 | 5 | 2 | 2 | 4 |
| Profissional | verde | 17 | Sim | "Porque é algo que vai agregar" | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 |
| Profissional | laranja | 35 | Não | "tontura" | 5 | 5 | 3 | 5 | 2 |
| Profissional | verde | 18 | Não | "Porque deixa muito tonto" | 1 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| Profissional | verde | 19 | Não | "Pq fiquei tonto" | 2 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| Profissional | laranja | 36 | Não | "acredito que nao necessito" | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Profissional | verde | 20 | Sim | "ajuda na visao de jogo" | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 |
| Profissional | laranja | 37 | Não | "nao tenho em casa" | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| Sub-16 | laranja | 22 | Sim | "porque eu achei legal" | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| Sub-16 | verde | 9 | Sim | "Por estratégia e pela visão de jogo que ela proporciona" | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 |
| Sub-16 | laranja | 23 | Sim | "Ajuda na visão do jogo" | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Sub-16 | verde | 10 | Não | "Me senti desconfortável em usar" | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Sub-16 | verde | 11 | Não | "Me senti desconfortável ao utilizar a ferramenta" | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Sub-16 | laranja | 27 | Não | "Me deu muita tontura" | 5 | 5 | 5 | 1 | 3 |
| Sub-16 | laranja | 28 | Não | "Pois foi um pouco difícil de utilizar a ferramenta, mas com mais treinamento para o uso da ferramenta eu me adaptaria" | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Sub-16 | verde | 12 | Sim | "É bom para visão de jogo" | 3 | 5 | 2 | 3 | 5 |
| Universitário | laranja | 1 | Sim | "Noção de posicionamento, de passe e de fluxo do jogo. Principalmente a noção de posicionamento, e como se posicionar de forma inadequada pode punir o meu time" | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 |
| Universitário | laranja | 2 | Sim | "Pela reprodutibilidade dos treinamento de maneira rápida." | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Universitário | laranja | 3 | Não | "Por conta do costume de usar controle durante parte da minha infância e também de me acostumar com o mouse/teclado depois, acredito que a interação com o dispositivo (controle separado por mão) torna mais dificultada a interação. Talvez com treinamento, essa experiência fica melhor, porém atualmente é bem difícil de controlar a visualização de jogo como jogador e como espectador." | 1 | 5 | 3 | 2 | 4 |
| Universitário | verde | 3 | Sim | "Muito intuitivo" | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Universitário | verde | 6 | Sim | "É bom para treinar a visão de jogo" | 2 | 3 | 5 | 4 | 4 |
| Universitário | laranja | 31 | Sim | "Usaria para ver as diferentes visões e estudar os vários possíveis cenários de cada jogada para tentar otimizar a movimentação e as tomadas de decisão durante os jogos" | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Universitário | verde | 15 | Não | "Fiquei exausto mentalmente" | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |

mais simples analisar de forma individual a movimentação dos grupos. Na Figura 5.7, que demonstra a movimentação dos profissionais durante o teste, é possível observar como a ideia da movimentação dos jogadores foi semelhante. Das movimentações desse grupo, alguns moveram-se na direção da bola e outros demoraram para iniciar a movimentação e acabaram por não conseguir se posicionar adequadamente ao fim da jogada.

Diferentemente dos profissionais, percebe-se na Figura 5.8 que os universitários tiveram uma movimentação no geral muito mais próxima do que a realizada pelo jogador real. Além disso, a movimentação foi mais longa do que a dos profissionais, o que pode indicar que reagiram de forma mais rápida e de direção mais assertiva do que os outros grupos.

A movimentação do Sub-16, representada na Figura 5.9, indica que os mesmos tiveram uma maior dificuldade de interpretação.

Sabe-se que, neste cenário, dois dos oito jogadores sub-16 ficaram parados, pois

Tabela 5.4 – Respostas dos participantes à pergunta opcional de comentários adicionais.

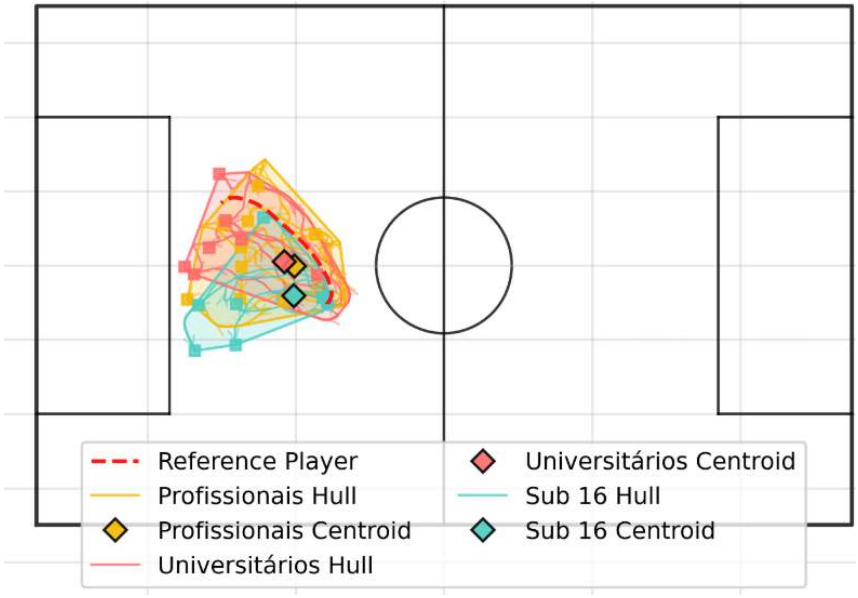
| **Grupo** | **Cor** | **Número** | **Utilizaria?** | **Gostaria de deixar algum comentário?** |
|---|---|---|---|---|
| Treinador | verde | 8 | Sim | Muito boa a maneira de visualizar o jogo de vários ângulos |
| Profissional | laranja | 33 | Sim | Experiência boa |
| Profissional | verde | 18 | Não | Deixar mais leve as imagens para que não cause tontura |
| Profissional | laranja | 36 | Não | gostei da experiencia |
| Profissional | laranja | 37 | Não | eh uma das unicas formas de treinar tomada de decisao, por isso tem utilidade |
| Sub-16 | laranja | 22 | Sim | eu achei muito legal |
| Sub-16 | verde | 12 | Sim | É legal |
| Universitário | laranja | 1 | Sim | O movimento da cabeça que o jogador faz no Ponto de Vista do Jogador não prejudica a experiência, mas se fosse um pouco mais "sutil"talvez fosse melhor, mas pode ser pelo fator de não estar acostumado com o uso da ferramenta. |
| Universitário | laranja | 3 | Não | Realmente, a movimentação da cabeça do jogador e a simulação de cabeça balançando junto atrapalharam a experiência de olhar a jogada e o jogador, sendo necessário olhar pelo número e a cor de cada jogador para me localizar. |

não compreenderam que deveriam se mover. Ainda que o método Latin Square tenha sido utilizado para alternar a ordem dos cenários, este cenário foi o primeiro a ser testado para os dois usuários. Os demais, foram para a direção oposta da bola com a exceção de um, que, acabou se atrasando um pouco na hora da movimentação não conseguindo se posicionar a tempo.

No fim, poderia-se dividir esse experimento em 3 grupos:

1. Os usuários que entenderam a tarefa e a movimentação e conseguiram se posicionar de forma mais ou menos similar ao jogador real;
2. Os usuários que também pareceram compreender o objetivo da tarefa, mas por de-

Figura 5.5 – Cenário de movimentação 1: clusters sobrepostos. Esta imagem destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários, Sub-16 e Profissionais. Ao redor desses grupos, traz-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Percebe-se nela que os grupos Profissionais e Universitários envolveram a movimentação do jogador real, enquanto o Sub-16 não conseguiu.




morarem mais para iniciar a sua movimentação, tiveram que ajustar suas trajetórias durante o teste;

3. Os usuários que não conseguiram realizar a tarefa, talvez por não entenderem o propósito da tarefa ou por dificuldade de usar os controles, permanecendo próximos ao ponto inicial ou movimentando-se na direção oposta à jogada.

### 5.2.2 Cenário de Movimentação 2

Como discutido na Seção 4.6.5, em virtude da complexidade inerente a este cenário, a análise será conduzida no momento em que a jogada é paralisada, conforme na Figura 4.19, a fim de elucidar as ações desejáveis e indesejáveis por parte dos usuários. Além disso, a fim de simplificar a explicação, será utilizado um momento intermediário do teste, possível ver na Figura 5.12.

Foi possível observar quatro comportamentos diferentes. A composição do grupo azul-claro é dada por: 2 Sub-16, 6 Profissionais e 6 Universitários. Os participantes, sem exceção, se movimentaram de forma similar ao jogador real. Foi possível identificar um padrão de pressão ao jogador 3 vermelho, seguido por um recuo após a ligação direta do goleiro. Os jogadores do grupo roxo, que são 2 Sub-16 e 1 Profissional, moveram-se na

Figura 5.6 – Cenário de movimentação 1: traçado das movimentações dos usuários com as posições finais dos jogadores reais.




Figura 5.7 – Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo de profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

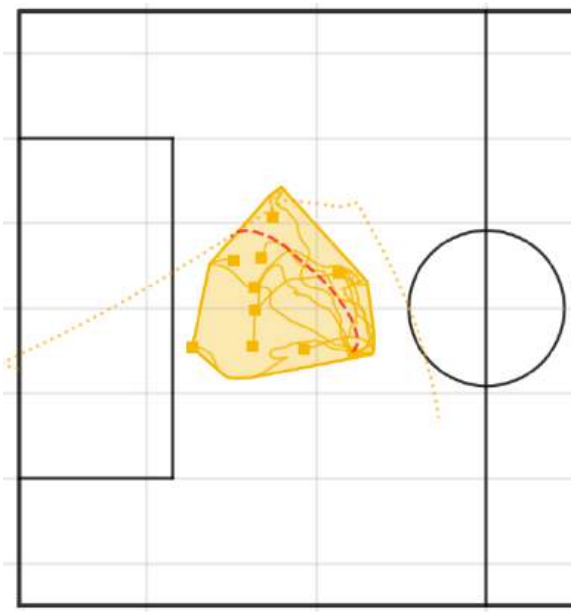


Figura 5.8 – Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo de universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

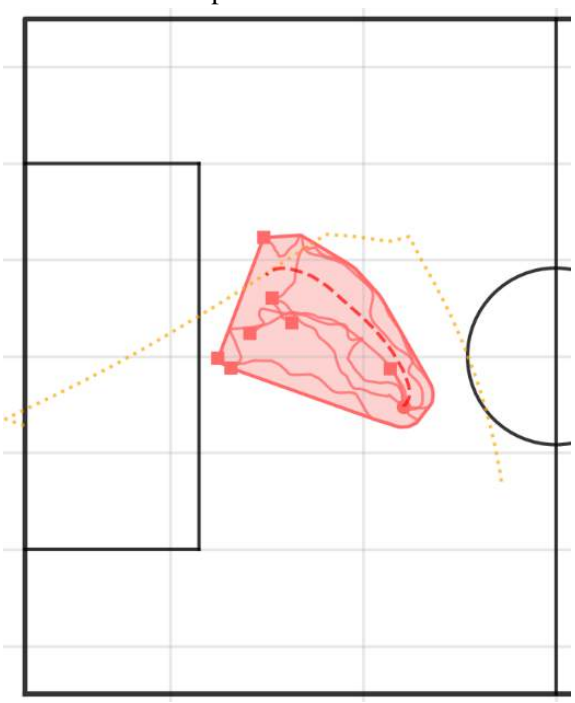


Figura 5.9 – Cenário de movimentação 1: envoltória convexa do grupo dos Sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

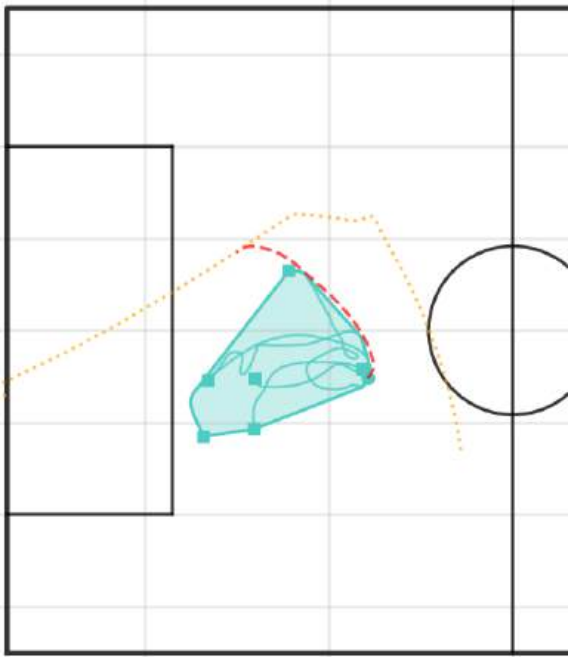
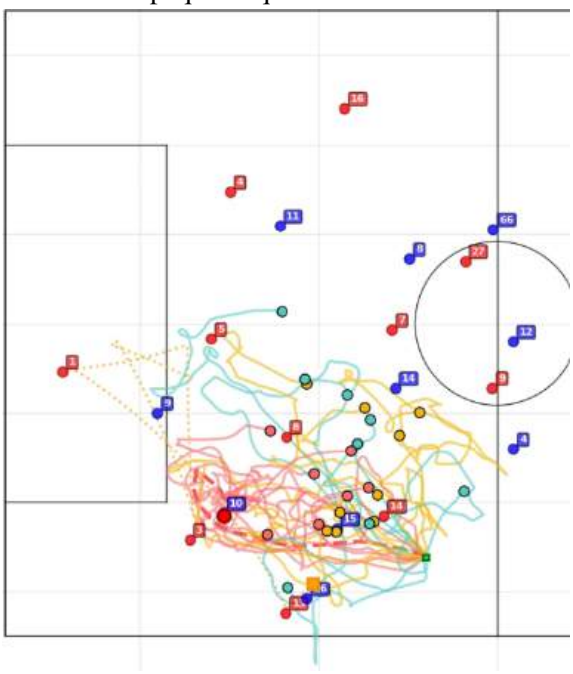


Figura 5.10 – Cenário de movimentação 2: posição final dos jogadores com as trajetórias dos usuários. As trajetórias iniciam no pequeno quadrado verde no canto inferior direito da figura.

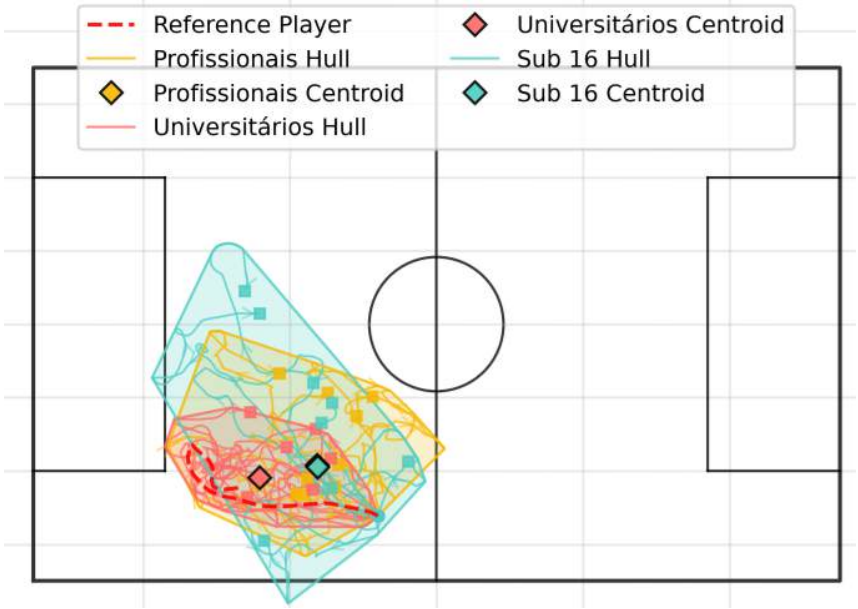


direção do jogador 5 seguindo a bola sem se preocupar com a pressão, a movimentação pode ser considerada equivocada, pois como é possível ver na imagem, o jogador 9 azul já está a fazer a marcação do jogador 5. Nesse cenário, é provável que os usuários estejam seguindo a bola sem se preocupar com a movimentação. O grupo verde, composto por 2 Sub-16, 2 Profissionais e 1 Universitário, refere-se aos jogadores que inicialmente se movimentaram na direção do jogador 8 vermelho, mas, como já discutido, perceberam que o jogador 15 azul, do seu time, não fez a movimentação adequada de pressão, exigindo que a sua movimentação tivesse de ser ajustada. O grupo vermelho se distribui em 2 Sub-16, 2 Profissionais e 1 Universitário. Nele estão os jogadores que demoraram para definir sua movimentação, seja por falta de atenção, dificuldade com os controles ou dificuldade de interpretação da cena. É possível ver um dos usuários parado no ponto inicial e outro fora do campo, indicando essas dificuldades apontadas. Os demais usuários desse grupo demoraram para iniciar a sua movimentação, fazendo com que estivessem atrasados em comparação com os outros grupos.

Apesar da complexidade do cenário, é possível encontrar uma justificativa para os movimentos dos usuários, o que indica que os mesmos conseguiram interpretar a cena. Alguns tiveram dificuldades, um usuário saiu do campo, mas no geral nenhum correu para a direção oposta da jogada, indicando algum nível de interpretação da mesma.

A fim de garantir consistência, também serão apresentados os participantes separados por seus grupos, sendo possível ver na Figura 5.13 os Profissionais, na Figura 5.14

Figura 5.11 – Cenário de movimentação 2: clusters sobrepostos. Esta figura destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários (vermelho), Sub-16 (azul) e Profissionais (amarelo). Ao redor desses grupos, traçou-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Assim, é possível observar uma dispersão entre os grupos: os universitários tiveram uma maior hegemonia na movimentação, seguidos pelos profissionais que tiveram uma variação maior e pelo Sub-16, que demonstrou maior inconsistência entre os grupos.




os Universitários e na Figura 5.15 os Sub-16.

### 5.2.3 Cenário de Movimentação 3

Neste cenário, os usuários assumiam o papel de um atacante, tendo a tarefa de se posicionar na área a fim de receber um cruzamento. Por se tratar de uma jogada mais simples, a análise dos resultados será feita da mesma maneira do Cenário 5.2.1, diferenciando os grupos universitários, profissionais e sub-16.

Fica evidente pelo traçado das trajetórias apresentado na Figura 5.16 que nenhum usuário se moveu na direção oposta à jogada, indicando que todos compreenderam o sentido do ataque e o propósito da jogada.

Na Figura 5.17, é possível comparar pelo traçado da envoltória convexa a diferença da movimentação dos três grupos, sendo universitários em vermelho, profissionais em amarelo e sub-16 em azul. Ao analisar o agrupamento dos profissionais na Figura 5.18, percebe-se que a grande maioria, com exceção de um jogador que optou por antecipar a bola, manteve-se posicionada na região central da linha do pênalti, assim como o jogador real. Houve um usuário que teve dificuldade e não conseguiu se movimentar

Figura 5.12 – Cenário de movimentação 2: Agrupamento dos usuários por estratégia adotada ao longo da jogada. O grupo azul representa os 11 usuários que tiveram um comportamento similar ao do jogador real. O grupo roxo representa os 3 usuários que pressionaram o jogador 5. O grupo verde representa os 5 usuários que pressionaram o jogador 8 e depois tiveram alguma dificuldade em corrigir a trajetória. O grupo vermelho é composto por 5 usuários que mantiveram a posição e não pressionaram nenhum jogador específico.

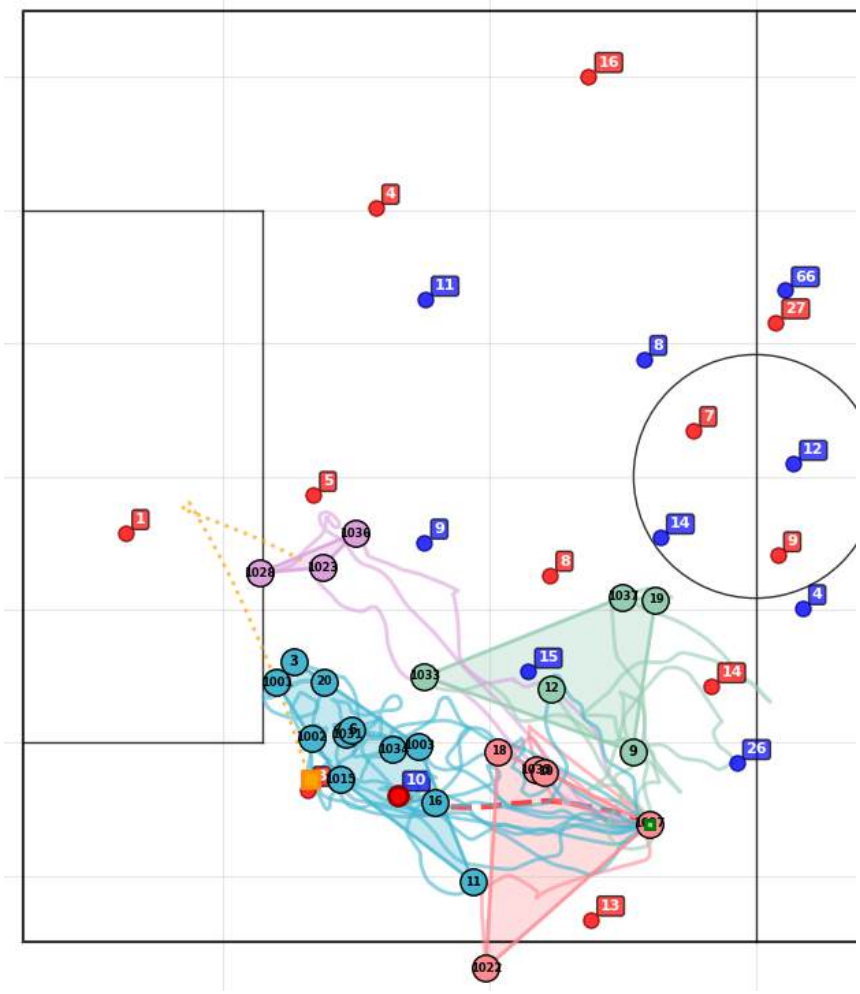


Figura 5.13 – Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

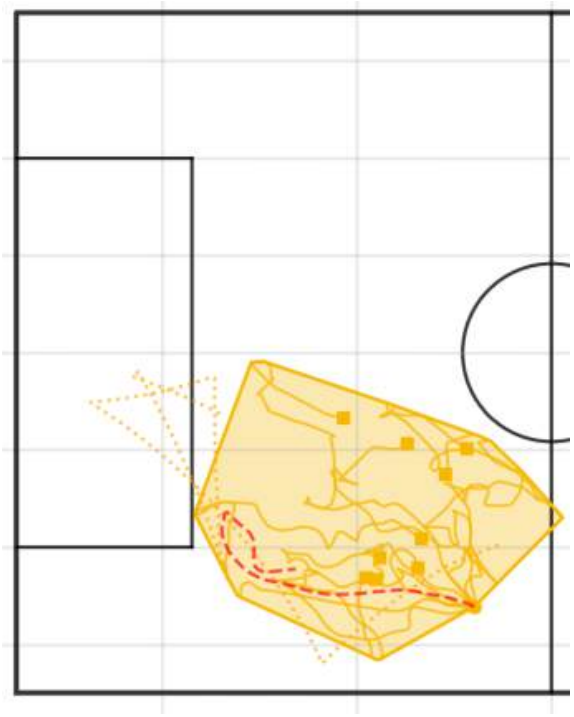


Figura 5.14 – Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo de universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

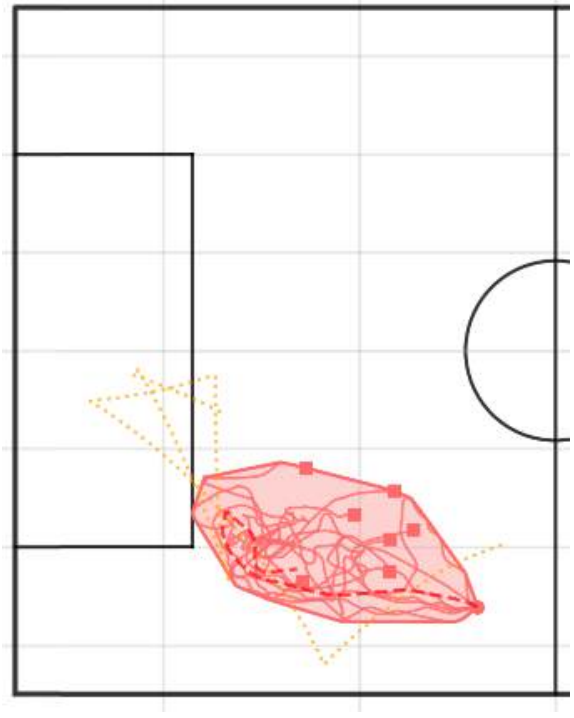


Figura 5.15 – Cenário de movimentação 2: envoltória convexa do grupo Sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

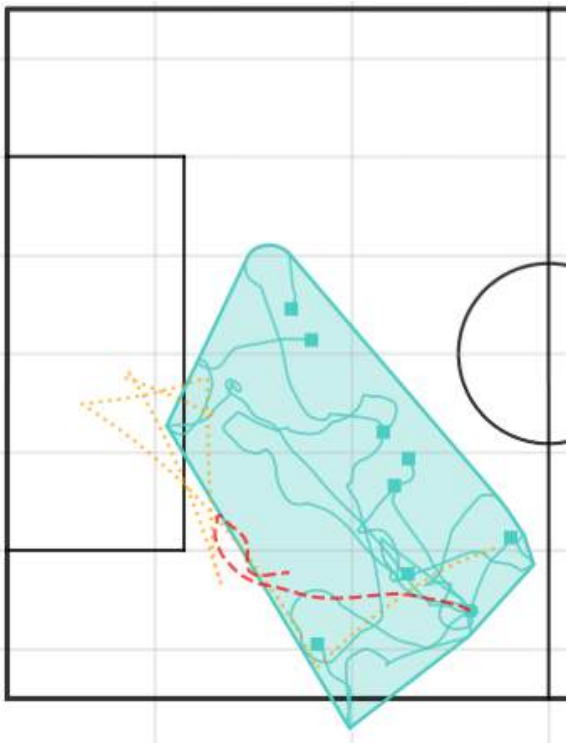


Figura 5.16 – Cenário de movimentação 3: traçado das movimentações dos usuários com as posições finais dos jogadores reais. É possível observar nessa imagem que nenhum dos usuários ficou em posição de impedimento ao final da jogada. O único que esteve, o azul segundo mais distante da bola, corrigiu a sua posição para ficar regular.

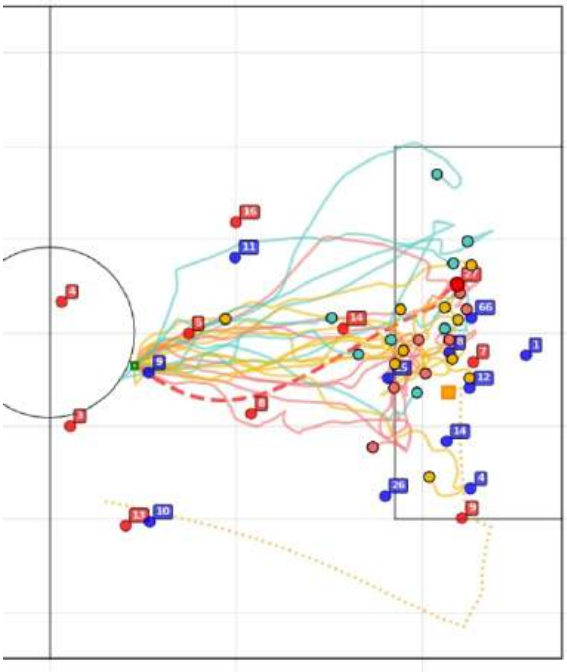
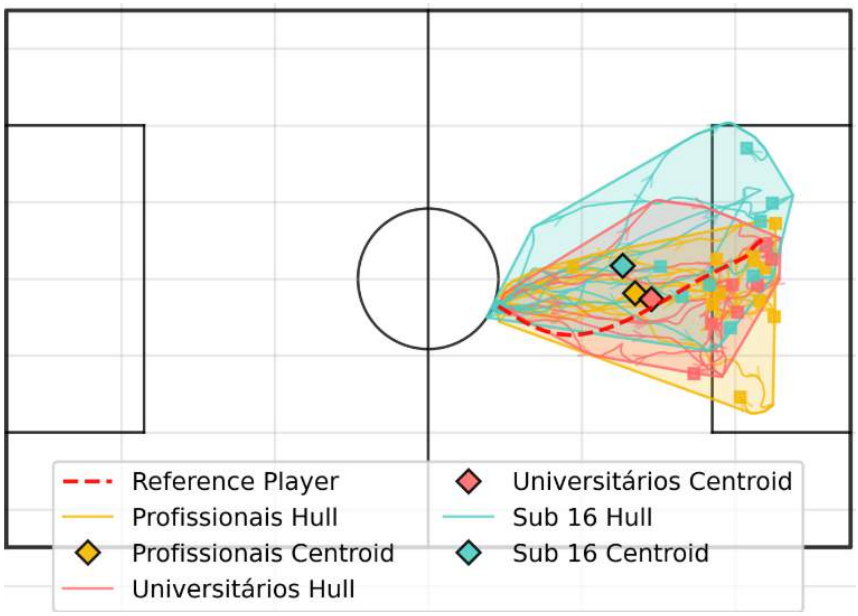


Figura 5.17 – Cenário de movimentação 3: clusters sobrepostos. Esta imagem destaca a movimentação dos usuários por 3 grupos: Universitários (vermelho), Sub-16 (azul) e Profissionais (amarelo). Ao redor desses grupos, traçou-se uma envoltória convexa para destacar as variações de movimentação dentre os grupos. Assim, é possível observar que todos os grupos tiveram a compreensão de como se movimentar na jogada, com alguns grupos variando a sua posição final, mas ainda assim conseguindo ter boa leitura da mesma.




corretamente a tempo.

O grupo dos universitários, demonstrado na Figura 5.19, também obteve um desempenho satisfatório. Todos se posicionaram de forma aceitável, alguns na marca do pênalti, outros no limite da grande área tentando antecipar o cruzamento.

A Figura 5.20 apresenta a envoltória convexa do grupo sub-16. Esse grupo foi o que teve a maior variação das posições atacadas. Um dos usuários buscou antecipar o cruzamento. Três usuários permaneceram na entrada da grande área próximos à marca do pênalti. Um usuário, com dificuldades de se movimentar, acabou se atrasando e não conseguiu se posicionar a tempo. Três usuários posicionaram-se de forma mais distante da jogada, possivelmente com o objetivo de esperar por um rebote ou por uma sobra, o que pode refletir o seu comportamento na prática do futebol.

No geral, pela natureza mais simples desse cenário, o desempenho dos usuários foi extremamente satisfatório, já que todos conseguiram ler a jogada, se posicionar de acordo com a sua interpretação, mantiveram-se atrás da linha de impedimento e aguardaram pelo cruzamento ou buscaram antecipá-lo. De qualquer forma, houve dois casos de usuários que não conseguiram se posicionar a tempo, mas que ainda assim compreenderam a direção da jogada e estavam se movendo para ela.

Figura 5.18 – Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo profissionais. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

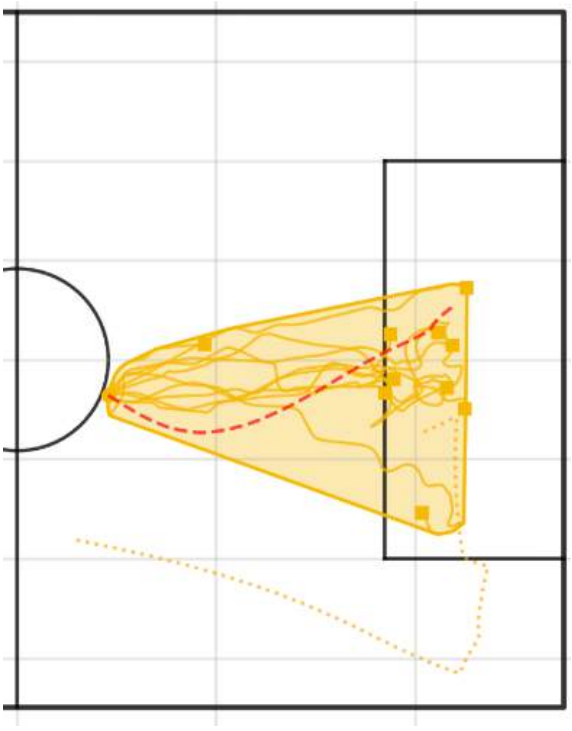


Figura 5.19 – Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo dos universitários. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.

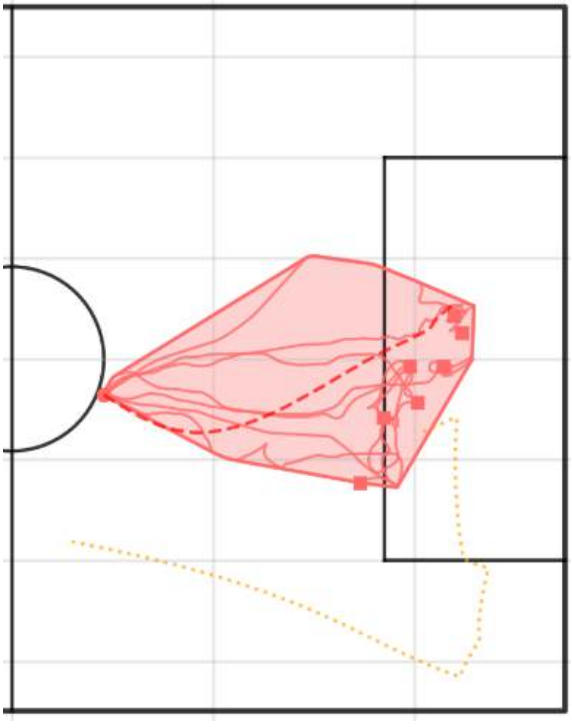
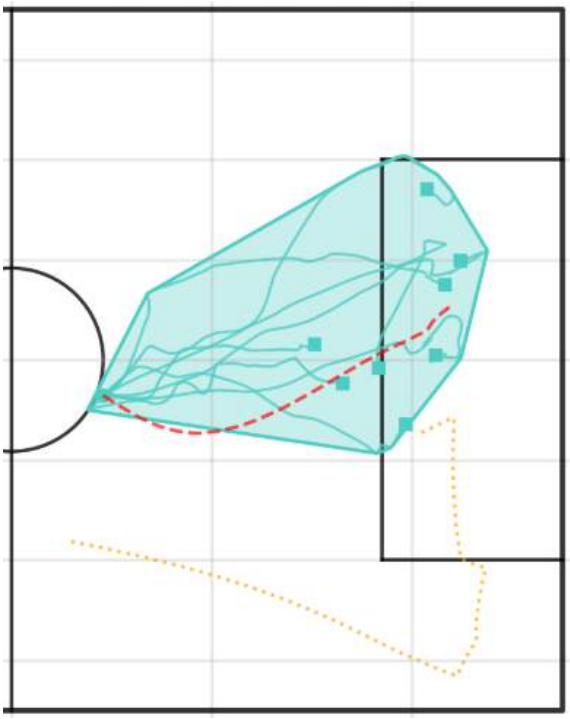


Figura 5.20 – Cenário de movimentação 3: envoltória convexa do grupo dos sub-16. A linha tracejada vermelha indica a movimentação do jogador real, enquanto a linha tracejada amarela representa a bola.



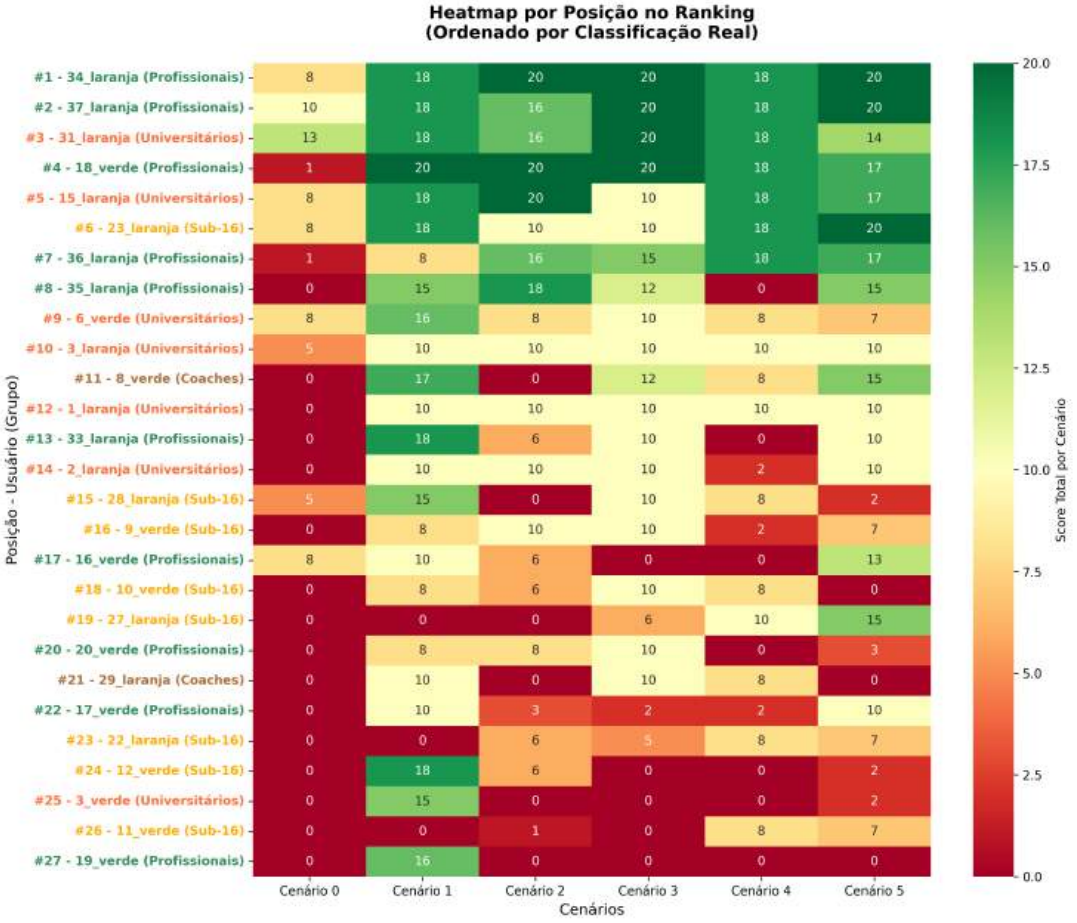
### 5.2.4 Cenários de Tomada de Decisão

Os cenários de tomada de decisão demonstraram maior simplicidade interpretativa em comparação aos cenários de movimentação. As avaliações foram atribuídas conforme os critérios estabelecidos na Seção 4.6.3.

Para facilitar a análise dos dados, foi elaborada uma tabela consolidando todos os cenários, com pontuação máxima de 20 por cenário (10 pontos atribuídos a cada decisão correta). As cores foram definidas em uma escala de vermelho a verde. Optou-se pelo vermelho para realçar que errar ambas as escolhas, tanto quem passou a bola quanto as opções de passe, indica falta de atenção ou baixo comprometimento com os testes. A Figura 5.21 apresenta os resultados dos testes, ordenados pela pontuação final. Na sequência, apresentam-se os resultados agrupados por categoria de participantes, considerando tanto a totalidade dos usuários quanto apenas os cinco melhores de cada grupo. Essa abordagem justifica-se pelo fato de que alguns participantes realizaram os testes com maior enfoque exploratório, enquanto outros apresentaram sintomas significativos de cybersickness, os quais impactaram diretamente o desempenho, aspecto que será discutido posteriormente.

O Cenário 0 destacou-se como o mais complexo, uma vez que os usuários não tinham visibilidade da bola na origem do lance. A baixa assertividade observada nesse

Figura 5.21 – Cenários de tomada de decisão: classificação final ordenada pela pontuação. A nota máxima é 20. Na esquerda é possível ver qual o grupo do usuário.



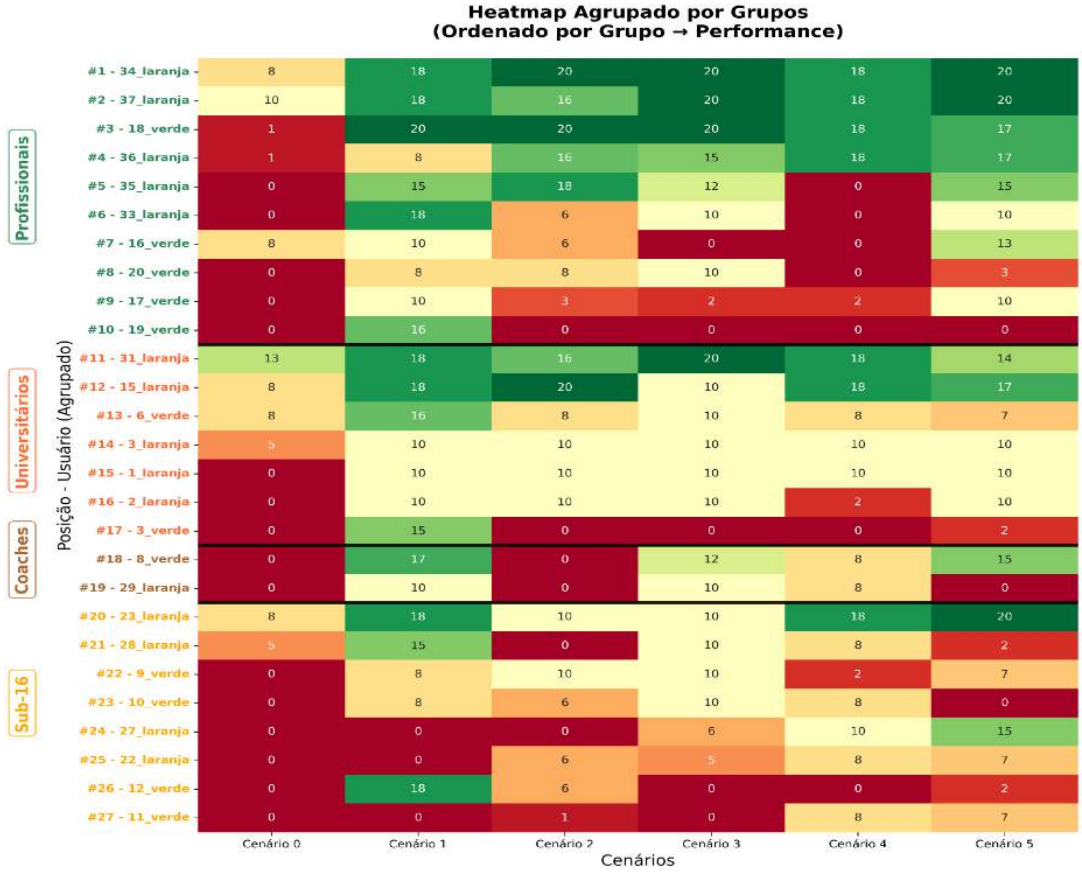

cenário corrobora seu elevado grau de dificuldade. De modo análogo, o Cenário 4 também apresentou desafios consideráveis, exigindo que o usuário realizasse uma rotação para identificar o jogador que efetuou o passe, fator que pode ter contribuído para a menor taxa de acertos.

A Figura 5.22 exibe os resultados ordenados por grupos e, posteriormente, por pontuação individual, sendo a classificação dos grupos determinada pela média de desempenho.

Conforme os dados apresentados, o grupo de Profissionais (N=10) obteve uma pontuação média de 59 pontos. Ao considerar apenas os cinco melhores participantes desse grupo, a média elevou-se para 87.4, consolidando sua posição como a mais destacada. O grupo de universitários (N=7) alcançou uma média geral de 58.7 pontos, com os cinco melhores apresentando média de 70.4, posicionando-se em segundo lugar. Por fim, o grupo Sub-16 (N=8) registrou média de 36.5 pontos, com os cinco melhores atingindo 44.8, ocupando a terceira colocação.

Os dois treinadores da categoria Sub-16, avaliados separadamente devido à sua

Figura 5.22 – Cenários de tomada de decisão: classificação final ordenada por grupos.




distinção em relação aos demais grupos (profissionais ou Sub-16), obtiveram 52 e 28 pontos, posicionando-se em 11º e 21º lugares, respectivamente.

Os resultados evidenciam que os profissionais apresentaram desempenho significativamente superior em comparação com os demais grupos, em consonância com os resultados da literatura.

## 5.3 Visualização

### 5.3.1 Apresentação dos Resultados

Conforme descrito na Seção 4.6.6, segue abaixo uma tabela que descreve o comportamento dos usuários durante esses testes.

É importante registrar que, durante o período desses testes, alguns usuários estavam sentindo efeitos severos de cybersickness. Isso implicou na desistência de 9 usuários. Isso aconteceu pela exposição prolongada à tecnologia, sendo que os usuários possuem baixa familiaridade com dispositivos de RV. A ordem de execução das tarefas também

Tabela 5.5 – Resultados detalhados da interação entre os participantes. A tabela apresenta os dados de interação dos participantes com o ambiente virtual. As colunas 'Grupo', 'Num' e 'Cor' são para identificação. O tempo total registrado é de 90 segundos, exceto onde a coluna 'Tempo Campo (s)' indica um valor diferente de 0.

| Grupo | Num | Cor | Idade | Comandos | Ativou Traj. | Alt. Campo/Arq. | Tempo Arq. (s) | Tempo Campo (s) | % Arq. | % Campo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Universitário | 1 | laranja | 26 | 15 | Sim | 2 | 23.3 | 66.7 | 25.9 | 74.1 |
| Universitário | 2 | laranja | 33 | 6 | Não | 2 | 89.2 | 0.8 | 99.1 | 0.9 |
| Universitário | 3 | laranja | 29 | 10 | Sim | 1 | 22.0 | 68.0 | 24.4 | 75.6 |
| Universitário | 3 | verde | 29 | 3 | Sim | 1 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Universitário | 6 | verde | 20 | 3 | Sim | 1 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 9 | verde | 13 | 8 | Não | 1 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 10 | verde | 13 | 7 | Não | 2 | 87.2 | 2.8 | 96.9 | 3.1 |
| Sub-16 | 11 | verde | 13 | 10 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 12 | verde | 13 | 15 | Sim | 1 | 21.8 | 68.2 | 24.3 | 75.7 |
| Universitário | 15 | verde | 37 | 9 | Sim | 3 | 14.9 | 75.1 | 16.5 | 83.5 |
| Profissional | 16 | verde | 23 | 17 | Sim | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 17 | verde | 23 | 12 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 18 | verde | 25 | 4 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 19 | verde | 24 | 21 | Sim | 2 | 80.7 | 9.3 | 89.7 | 10.3 |
| Profissional | 20 | verde | 21 | 19 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 22 | laranja | 12 | 12 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 23 | laranja | 13 | 8 | Não | 2 | 15.0 | 75.0 | 16.7 | 83.3 |
| Sub-16 | 27 | laranja | 12 | 7 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Sub-16 | 28 | laranja | 15 | 5 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Universitário | 31 | laranja | 22 | 15 | Sim | 2 | 14.8 | 75.2 | 16.4 | 83.6 |
| Profissional | 33 | laranja | 30 | 13 | Sim | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 34 | laranja | 21 | 42 | Sim | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 35 | laranja | 30 | 6 | Não | 1 | 3.0 | 87.0 | 0.7 | 99.3 |
| Profissional | 36 | laranja | 31 | 19 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |
| Profissional | 37 | laranja | 22 | 6 | Não | 0 | 90.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 |

pode ter impactado o desempenho dos usuários, já que este cenário foi precedido pelos cenários de tomada de decisão e movimentação, podendo ter desencadeado esses sintomas pela natureza da alta velocidade de movimentação.

### 5.3.2 Casos de Uso

Abaixo serão apresentados os casos de uso que foram criados para ilustrar a usabilidade do sistema.

O primeiro caso de uso é o caso de uso *Visualizar Perspectiva de Jogador Experiente*. Este caso de uso descreve a sequência de interações pela qual um jogador da base acessa e analisa lances de uma partida através do ponto de vista de um jogador experiente, com o objetivo de acelerar seu desenvolvimento tático e técnico.

O sistema reproduz os lances da partida, destacando componentes fundamentais para a análise: a trajetória completa de movimentos do jogador experiente, seu campo de visão e focos de atenção durante a partida e marcações específicas de ações relevantes, como passes decisivos, desarmes ou movimentos sem bola. Durante a reprodução, o usuário dispõe de ferramentas de controle que permitem pausar, retroceder e ajustar a

velocidade de reprodução, facilitando a análise minuciosa de momentos específicos da partida. Complementarmente, o sistema oferece a funcionalidade de ativar ou desativar camadas individuais de anotação, permitindo que o aprendiz isole variáveis específicas conforme seu foco de estudo, por exemplo, ocultando a trajetória de movimentos para concentrar-se exclusivamente no comportamento visual do experiente.

A execução bem-sucedida deste caso de uso resulta na aquisição de insights valiosos sobre padrões de movimento, estratégias de busca visual e processos de tomada de decisão característicos de jogadores de elite. Isso permite ao jogador da base incorporar progressivamente ao seu modelo mental para subsequente aplicação em contextos reais de treino e competição.

O segundo caso de uso, *Experiência Imersiva em Realidade Virtual*, aborda uma limitação significativa do futebol tradicional: a barreira de acesso físico aos estádios. Esta restrição manifesta-se através de múltiplas dimensões, seja pela dificuldade de locomoção até o local do jogo, pela ausência da equipe preferida na cidade do torcedor, ou ainda por limitações econômicas que impossibilitam a aquisição de ingressos. Estas barreiras podem encontrar na realidade virtual uma solução que não apenas replica a experiência presencial, mas a amplifica através de recursos analíticos exclusivos, como as ferramentas de visualização de dados que foram implementadas.

A implementação baseia-se na utilização do HMD para transportar o usuário para uma perspectiva virtual na arquibancada do estádio. Contudo, diferentemente de uma simples transmissão de vídeo em VR360, a experiência é enriquecida com as funcionalidades implementadas que não estão disponíveis em transmissões convencionais. O espectador imersivo tem à disposição um conjunto de ferramentas de visualização, como mapas de calor, visualizações de pontos de vista, movimentação liberada na arquibancada, trajetórias, controles de reprodução, entre outras. Assim, revelando aspectos táticos e estatísticos do jogo em tempo real, criando uma experiência mais próxima e mais rica às tradicionais.

O terceiro caso de uso, *Adaptação Rápida de Atletas*, aborda um desafio significativo do futebol profissional: a necessidade de uma adaptação quase imediata de jogadores em posições ou funções para as quais não foram originalmente preparados. Esse problema ocorre pois jogadores recebem instruções e tarefas para cada jogo, e seu desempenho é diretamente relacionado à sua capacidade de cumprir corretamente essas demandas impostas pelo treinador. Por conta disso, esta situação emerge predominantemente em dois cenários específicos: a substituição de atletas titulares que foram negociados no mercado

de transferências ou a reposição temporária de jogadores lesionados. Tradicionalmente, este processo de adaptação demanda semanas ou mesmo meses de trabalho tático intensivo, período durante o qual a equipe frequentemente experimenta queda de rendimento.

Esse caso de uso é fortemente similar ao primeiro, em que a ferramenta proposta otimiza este processo através da transferência de conhecimento tático. O usuário tem acesso ao ponto de vista do atleta que pretende substituir, podendo analisar não apenas as ações visíveis durante as transmissões convencionais, mas principalmente os padrões de movimento, tomada de decisão e posicionamento específicos que caracterizam o estilo de jogo do titular.

# 6 DISCUSSÃO

Nessa seção serão discutidos os resultados do experimento, as hipóteses, indícios da eficácia e da transferibilidade, sobre a adesão e aceitação dos usuários e sobre os resultados dos testes de forma específica. Após isso, serão separados e discutidos tópicos relacionados à ferramenta, replicação de dados, validade e fidelidade e considerações sobre cybersickness.

## 6.1 Sobre os Resultados dos Testes

Nessa sessão serão discutidos os resultados dos testes, suas hipóteses, os indícios da transferibilidade obtidos, a aceitação dos usuários e os testes de forma mais geral.

### 6.1.1 Observações Sobre as Hipóteses

**H1. É esperado que os atletas profissionais tenham melhor desempenho na realização das tarefas.**

Fica evidente que os resultados de tomada de decisão (Seção 5.2.4) foram semelhantes aos obtidos por Wood et al. (2021) e Harris et al. (2019). Nos testes de caráter classificatório, os profissionais obtiveram um score superior ao dos outros dois grupos, conforme apresentado na Figura 5.22. Por se tratar de um ambiente virtual com menor fidelidade dos testes de Panchuk, Klusemann and Hadlow (2018), pode-se afirmar que o resultado era esperado.

Contudo, ao analisar os cenários de movimentação, percebe-se que esse grupo no geral dos três testes teve uma maior variabilidade e imprecisão nas movimentações em comparação com o jogador real, como é possível ver nas Figuras 5.7, 5.13 e 5.18, e com o grupo dos universitários, que, por sua vez, teve sua movimentação mais similar. Isso pode ter se dado pelo fato da maioria dos profissionais estarem sentindo algum desconforto, como evidenciado na Figura 5.2, e, por consequência, não estarem conseguindo executar a tarefa com a mesma capacidade daqueles que não estavam. Outro fator de influência pode ter sido a diferença de esforços entre os grupos. Na Figura 5.4 observa-se que, com a exceção da exigência física, os profissionais se sentiram mais exigidos do que os universitários; a exigência mental e o nível de esforço geral podem justificar essa afirmação.

**H2. É esperado que os participantes que têm maior experiência no uso de óculos de realidade virtual ou em dispositivos semelhantes tenham melhor desempenho na realização das tarefas.**

Com base na análise dos dados, verifica-se que a hipótese anterior, que previa a superioridade dos profissionais em relação aos universitários, foi parcialmente validada.

Durante a execução dos cenários de movimentação, observou-se um resultado inverso ao destacado em H1. Os universitários apresentaram um desempenho significativamente melhor, caracterizado por trajetórias mais concisas, menor dispersão e interpretações mais assertivas dos comandos, enquanto os profissionais tiveram uma movimentação menos assertiva, movendo-se de forma menos coerente em comparação com os universitários. Mesmo assim, isso não invalida as movimentações feitas pelos profissionais, pois, como já discutido nas Seções 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, foi possível compreender as movimentações feitas por cada grupo. Este resultado sugere uma maior familiaridade prévia desse grupo com interfaces analógicas e convenções de controle em ambientes virtuais, um fato que foi corroborado pelos relatos nos formulários de esforço percebido e carga de trabalho, que indicaram maior naturalidade e menor estresse entre os universitários.

Conclui-se, portanto, que o desempenho geral é mediado pelo tipo de tarefa. Enquanto a expertise sobre o conhecimento de futebol foi o fator crítico para o sucesso nas tarefas de decisão, a expertise tecnológica (familiaridade com controles e navegação 3D) foi o fator preponderante para a superioridade no módulo de movimentação. Em uma comparação horizontal com o grupo Sub-16, ambos os grupos (profissionais e universitários) desempenharam-se melhor, pois o último demonstrou baixa aderência à tarefa, abordando as tarefas de forma mais exploratória em detrimento das instruções fornecidas.

Dessa forma, a hipótese inicial é aceita apenas para o domínio da interação espacial, onde a proficiência técnica mostrou-se mais relevante que a experiência desportiva, sendo rejeitada para o domínio da tomada de decisão.

**H3. É esperado que a idade dos participantes influencie a sua progressão entre as tarefas, interferindo no tempo dedicado à leitura da descrição das tarefas, na realização das tarefas e na avaliação do próprio desempenho no experimento.**

Durante a execução dos testes de movimentação e tomada de decisão, notou-se que os participantes do grupo Sub-16 demonstraram um interesse maior em explorar livremente o ambiente de jogo e interagir com a bola, em vez de seguir rigidamente as tarefas propostas. Esse comportamento diferenciado influenciou diretamente os resultados. Nas tarefas de movimentação, a trajetória desses jogadores foi perceptivelmente mais

dispersa e menos alinhada com o movimento real esperado, quando comparada aos outros grupos. A forte tendência de perseguir a bola resultou em um padrão de deslocamento menos eficiente.

Já nos cenários de tomada de decisão, o desempenho do sub-16 foi significativamente inferior. Por serem realizadas antes das etapas de movimentação livre, as tarefas de decisão pareceram ser encaradas como um obstáculo a ser superado rapidamente. Vários participantes realizaram as escolhas de forma apressada, repetindo ações mecânicas sem ler ou interpretar corretamente as instruções. Isso foi percebido durante a análise dos dados, em que todas as três perguntas eram respondidas selecionando o mesmo jogador, além de não serem escolhidas outras opções de passe.

Além disso, observaram-se dificuldades de leitura e compreensão entre alguns integrantes desse grupo. Erros de pronúncia e leitura em voz alta, necessários para o acompanhamento do experimento, sugerem que parte dos jogadores pode não ter absorvido completamente o que era solicitado. Essa possível limitação, somada à falta de foco durante a execução, observada durante a aplicação dos testes, ajuda a explicar os resultados obtidos.

Dessa forma, entende-se que o desempenho mais baixo do grupo Sub-16 não se deve necessariamente a uma incapacidade, mas a uma combinação de fatores comportamentais e cognitivos: preferência pela exploração livre, dificuldade em seguir instruções textuais e baixo engajamento com as tarefas propostas, o que em conjunto comprometeu a comparabilidade com os demais grupos. Dessa forma, validando a H3.

**H4. É esperado que a experiência do usuário no domínio, isto é, a sua posição no futebol e o que é esperado do seu comportamento no jogo, influencie a forma como ele encara e realiza as tarefas.**

Mais uma vez, torna-se complexo confirmar essa hipótese, pois os resultados, especialmente os relacionados à H2, sugerem que o desempenho esteve mais associado à capacidade de adaptação à ferramenta do que propriamente à posição em campo ocupada pelos participantes.

Observou-se, por exemplo, que durante os testes de movimentação, em especial no segundo cenário de movimentação, descrito na Seção 5.2.2, os universitários apresentaram performance superior à dos demais grupos, ainda que muitos não possuíssem experiência formal em futebol ou treinamento específico. O que diferenciou esse grupo foi a facilidade em compreender e interagir com a interface proposta.

No cenário de movimentação 3, descrito na Seção 5.2.3, obtiveram-se indícios de

que o comportamento do usuário é influenciado pelo seu conhecimento prévio (posição no futebol). Jogadores Sub-16, de menor estatura (observada durante a execução dos testes e não medida), movimentaram-se para regiões mais afastadas da área, enquanto os demais usuários obtiveram dois comportamentos distintos. Um grupo movimentou-se na direção da marca penal, buscando um cabeceio, e outro grupo na direção da bola, buscando antecipar os defensores ou aproximar-se do jogador que possuía a posse para receber um passe.

Dessa forma, a hipótese em questão não pôde ser devidamente verificada, não devido a contradições nos dados, mas porque o desenho experimental não incluiu elementos específicos capazes de isolá-la ou testá-la diretamente.

Por outro lado, nos cenários de tomada de decisão, nos quais era necessário escolher para quem passar a bola, os profissionais obtiveram melhores resultados. Isso provavelmente ocorreu porque essa tarefa dependia menos de habilidades tecnológicas e mais de conhecimento tático, além de apresentar uma interface mais simples se comparada à usada no teste de movimentação.

Diante disso, conclui-se que a confirmação total da hipótese torna-se inviável com os dados atuais, uma vez que fatores de usabilidade e familiaridade com a ferramenta se sobrepuseram às variáveis relacionadas à posição em campo dos participantes.

### 6.1.2 Sobre os Indícios da Eficácia do Treinamento

Um dos aspectos mais relevantes para o treinamento em realidade virtual (RV) é a transferência das habilidades desenvolvidas no simulador para o mundo real. Afinal, não há vantagem prática em um atleta se tornar especialista no ambiente virtual se isso não se refletir em sua performance real. A literatura especializada aponta que um forte indício dessa transferência é a reprodução das diferenças de expertise observadas no mundo real em relação ao virtual.

Uma maneira de verificar isso é por meio da comparação do desempenho de grupos com diferentes níveis de experiência, como por exemplo, profissionais, amadores e não praticantes. Espera-se que os profissionais tenham um desempenho superior ao dos amadores, que, por sua vez, devem se sair melhor do que os não praticantes. Em parte, os resultados obtidos confirmaram essa tendência de forma moderada, principalmente nos testes de tomada de decisão, descritos na Seção 5.2.4, onde os profissionais se saíram melhor, alinhando-se com achados anteriores da área.

A relação de superioridade dos profissionais não se manteve, no entanto, nos testes de movimentação (cenários 1, 2 e 3). Nestes, os universitários, muitos sem treinamento formal em futebol, apresentaram trajetórias visualmente mais assertivas, concisas e, crucialmente, mais similares à movimentação do jogador real que serviu como referência, superando inclusive os profissionais nesta métrica específica. É importante destacar que este resultado está vinculado à métrica escolhida, à similaridade com o padrão de movimento pré-estabelecido, já que outras métricas poderiam potencialmente levar a conclusões distintas. Apesar da divergência de desempenho nesta tarefa, a análise de agrupamento (clustering) revelou que todos os usuários, independentemente do grupo, puderam ser associados a alguma interpretação da jogada, levando a um padrão consistente de movimentação, indicando que as ações não foram aleatórias, mas sim variantes reconhecíveis dentro de um espectro de comportamentos possíveis.

É importante ressaltar que o desempenho inferior dos profissionais não indica necessariamente que estes se moveram de forma "incorreta", mas sim que o grupo com maior familiaridade tecnológica adaptou-se mais rapidamente aos requisitos de interação com o sistema. O principal fator explicativo para este fenômeno parece residir no desconforto relatado pelos profissionais, possível ver na Figura 5.3 e na Figura 5.2, que, conforme registrado nos formulários, experimentaram níveis significativamente mais altos de esforço percebido e enjoos, prejudicando seu desempenho nesta tarefa específica. Portanto, embora o potencial de eficácia do treinamento exista, a barreira do mal-estar induzido pela ferramenta mostrou-se um fator determinante nos resultados observados.

### 6.1.3 Sobre a Adesão e Aceitabilidade

Dos 27 usuários que testaram, 20 relataram dificuldades significativas de conforto durante o uso do simulador. O problema pronunciado mais frequente foi o motion sickness. A causa principal parece residir na natureza da movimentação simulada, como já comentado na Seção 6.4. É importante destacar que todas as sessões de validação preliminar foram conduzidas com universitários, o que provavelmente resultou em uma interface mais intuitiva e adequada para esse grupo. Consequentemente, os atletas profissionais apresentaram maior rejeição, com um índice de aceitação de 59 (contra um score mais alto entre os estudantes). Esse dado reforça que a ferramenta pode não estar otimizada para o perfil do usuário final.

A adaptação e a familiarização com o sistema, conforme sugerido em um dos

feedbacks, também podem minimizar a ocorrência de sintomas. A eficácia do treinamento fica comprometida se os participantes não conseguirem utilizar a tecnologia de maneira contínua e sem mal-estar. Um simulador tecnicamente funcional perde seu propósito se, ao final da sessão, o atleta estiver indisposto e incapaz de desempenhar suas funções imediatamente, necessitando de um tempo de recuperação.

Uma análise das respostas sobre a adoção para treinamento diário corrobora essa conclusão: das dez respostas de profissionais, quatro foram positivas e seis negativas. Dois dos que recusaram citaram motivos alheios à experiência (como não considerar necessário ou não ter o equipamento em casa). No entanto, os outros quatro justificaram a recusa explicitamente pelo desconforto físico, mencionando "tontura", "enjoo"e "mal-estar". Isso indica que a mitigação desses sintomas tem potencial para elevar significativamente a aceitabilidade.

Portanto, torna-se prioritário para versões futuras investigar estratégias para minimizar o motion sickness, realinhando o desenvolvimento por meio de ciclos de teste diretamente com o público-alvo profissional. As sugestões coletadas devem orientar modificações para equilibrar a fidelidade tática e o bem-estar do usuário, garantindo que a tecnologia seja não apenas capaz, mas também praticamente viável. Entre os ajustes a serem explorados estão:

- Investigar diferentes ângulos de câmera (ex.: visão em terceira pessoa);
- Ajustar a sensibilidade dos movimentos;
- Incluir um período de adaptação gradual;
- Implementar recursos de estabilização visual.

Essas e outras possibilidades serão aprofundadas em trabalhos futuros, visando aumentar a usabilidade, o conforto e, por fim, a eficácia da ferramenta para atletas.

### 6.1.4 Sobre os Testes de Tomada de Decisão

Com base na análise de validade conduzida, observa-se que os testes de tomada de decisão demonstraram uma validade significativamente superior em comparação aos testes de movimentação. Nos primeiros, foi possível identificar padrões de desempenho consistentes com a literatura existente, reproduzindo as diferenças de expertise entre grupos, o que é um indicador robusto de que o instrumento capturou adequadamente os constructos pretendidos. Esse alinhamento com resultados previamente estabelecidos na área

constitui um ponto positivo e confere credibilidade à ferramenta na avaliação de aspectos cognitivos e táticos.

Entretanto, não foi possível realizar uma comparação direta e confiável dos sintomas de cybersickness entre os dois tipos de teste, uma vez que a ordem de aplicação não foi alternada sistematicamente. Todos os participantes realizaram primeiro os testes de tomada de decisão, que, por sua natureza mais estática, naturalmente induzem menos enjoos, e posteriormente os de movimentação, que envolvem navegação ativa em um ambiente virtual. Essa limitação metodológica impede afirmar categoricamente que os testes de movimentação causam mais desconforto, pois o efeito de ordem e a acumulação de fadiga podem ter influenciado os resultados.

Vale destacar que, nas referências que inspiraram este trabalho, focadas principalmente em testes de tomada de decisão, há poucos relatos de desconforto, sugerindo que esse tipo de tarefa é menos propenso a induzir motion sickness. Dessa forma, um passo importante para estudos futuros seria propor protocolos distintos, alternando a ordem de apresentação dos testes. Isso permitiria isolar o efeito específico de cada tarefa sobre o conforto do usuário e validar quantitativamente se os testes de movimentação de fato causam mais sintomas adversos, como os dados sugerem. Essa investigação é importante para o aprimoramento da ferramenta e para garantir sua aplicabilidade junto ao público-alvo.

### 6.1.5 Sobre os Testes de Movimentação

Os testes de movimentação, por sua natureza inédita e complexa, merecem uma análise dedicada, uma vez que envolveram variáveis que transcendem uma simples dicotomia entre "certo"e "errado". Como uma proposta nova, sem benchmarks prévios na literatura, é plausível que a implementação inicial não estivesse totalmente otimizada para a coleta de dados, mesmo após as atualizações realizadas durante o desenvolvimento. Problemas como o desconforto e a curva de aprendizado íngreme só se tornaram plenamente evidentes durante a execução dos testes, indicando que ajustes metodológicos, como um período de familiarização mais longo e estruturado, poderiam ter produzido resultados mais consistentes.

Um indicador claro da necessidade de maior preparação foi o comportamento observado em vários usuários, especialmente no início dos testes. Pelo menos três participantes permaneceram imóveis por vários segundos após o início da simulação, perdendo

o contexto da jogada e comprometendo seu posicionamento posterior. Apesar do aprimoramento do ambiente virtual, com a adição de setas direcionais e instruções visuais, casos de hesitação persistiam, sugerindo que a familiarização oferecida foi insuficiente para garantir conforto operacional. Este fato por si só justificaria uma sessão dedicada exclusivamente ao treinamento e à adaptação à ferramenta.

Além disso, é provável que os testes de movimentação tenham sido os principais causadores dos sintomas de motion sickness que levaram à desistência de alguns usuários. Embora tenham sido registrados alguns incômodos durante as tomadas de decisão, a maioria dos casos de mal-estar severo ocorreu durante ou após os cenários de navegação ativa no espaço virtual. Essa distinção é crucial para orientar futuros refinamentos.

Do ponto de vista da fidelidade da simulação, a opção por uma velocidade constante de movimentação mostrou-se uma limitação significativa. No futebol real, os atletas alternam constantemente entre três modos principais: caminhada, trote e sprint de alta intensidade. Ao simplificar esse continuum para uma única velocidade, perde-se não apenas o realismo do movimento, mas também a carga cognitiva e decisional inerente à gestão do esforço. Uma direção promissora para trabalhos futuros seria integrar este aspecto multifásico da locomoção, possivelmente através do uso de esterçamento (steering) corporal em um espaço controlado ou de esteiras omnidirecionais, que permitam ao usuário regular intuitivamente a sua própria velocidade, aproximando a simulação do desgaste físico e das decisões de movimento do mundo real.

## 6.2 Sobre a Obtenção e Replicação dos Dados

Uma das principais limitações deste estudo reside na obtenção e no acesso a dados de movimento de atletas profissionais, o que impacta diretamente a replicabilidade e a expansão da ferramenta desenvolvida. Os dados já são capturados em larga escala, mas essa carência deve-se à natureza restritiva com que clubes e instituições esportivas tratam tais informações, uma vez que, visando preservar vantagens competitivas, evitam divulgar dados detalhados de desempenho e movimentação de seus jogadores. Como consequência, o presente trabalho foi limitado à utilização de apenas cinco minutos de gravação de uma partida, o que restringiu significativamente a variação de cenários testados, a diversidade de situações avaliadas e a profundidade das análises realizadas.

Diante desse cenário, tornam-se necessárias iniciativas e projetos dedicados à captura sistemática e à disponibilização controlada, ainda que anônima ou agregada, desse

tipo de dado. A abertura progressiva de conjuntos de dados representativos permitiria não apenas a replicação de estudos sob condições mais robustas e variadas, mas também a implementação prática das sugestões levantadas durante as sessões de validação e nos feedbacks dos profissionais. Somente com uma base de dados mais abrangente e realista será possível avançar em direção a validações experimentalmente mais consistentes e alinhadas com os protocolos estabelecidos na literatura especializada, como os já citados anteriormente. Sem isso, permanece o desafio de desenvolver simuladores que sejam simultaneamente fiéis às complexidades do esporte e clinicamente validados para o treinamento esportivo.

## 6.3 Sobre a Validade e Fidelidade da Ferramenta

O propósito dessa seção é discutir as características da ferramenta de formas gerais e os impactos da validade e fidelidade da ferramenta nos testes.

Levando em consideração o que é dito pelos trabalhos de Gray (2019) e por Wood et al. (2021), as fidelidades podem ser divididas em física, afetiva, biomecânica e psicológica, como demonstrado na Tabela 2.1.

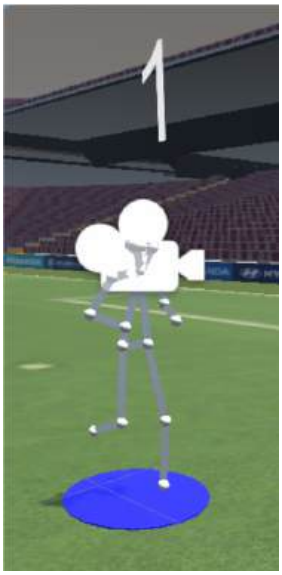
### 6.3.1 Fidelidade Física

Ao analisar a fidelidade física da ferramenta, os dados de captura de movimento proveem alta similaridade comportamental, apesar dos modelos serem pontos ligados, formando um esboço das silhuetas dos jogadores. Ainda, um campo com uma textura de grama foi colocado para que o mesmo seja mais agradável aos olhos, além de um modelo de estádio[1] para aumentar a imersão do usuário com a cena.

Dados esses aspectos físicos, durante os testes, percebeu-se em alguns usuários uma dificuldade de identificar a sua equipe (quando no corpo de um jogador) e, algumas vezes, de selecionar um jogador durante os procedimentos que necessitavam de tal interação por conta da fina espessura dos modelos. Além disso, quando na segunda seção de validação (Apêndice E), quando questionados nos formulários sobre as visualizações da ferramenta, como disponível na Tabela E.1, observa-se uma discordância na pergunta "*A visualização de jogadores "palito"prejudicou a compreensão da cena?*", Obteve-se uma

[1] O modelo do estádio pode ser encontrado em https://sketchfab.com/3d-models/world-cup-2022-qatar-concept-stadium-b5a2d7050d1649ba8184498e9686764c

Figura 6.1 – Versão final dos modelos dos jogadores, renderizado com a base identificando o time e o número identificando a camiseta. Os goleiros receberam cores distintas para facilitar a diferenciação.




grande divergência nas opiniões, o que indica que a visualização dos jogadores poderia ser melhorada.

Antes dos testes finais, foram feitas correções para aumentar a facilidade na identificação do jogador e da sua equipe conforme apresentado na Figura 6.1. Foram adicionados o número da camiseta acima da cabeça do jogador e uma base colorida indicando qual a cor do time.

### 6.3.2 Fidelidade Afetiva

O som desempenha um papel fundamental na tomada de decisão tanto de juízes quanto de atletas, conforme Nevill, Balmer and Mark Williams (2002) e Oldfield, Oldfield and and (2024). Não foi utilizada nenhuma reprodução de áudio na ferramenta. A falta de som pode deixar de gerar desconforto no usuário, fazendo com que o jogador não se sinta pressionado como estaria em um contexto real, melhorando o seu desempenho. Para reproduzir alguma sensação de pressão, poderia-se adicionar um tempo limite de execução para cada tarefa.

### 6.3.3 Fidelidade Biomecânica

Os movimentos do usuário no ambiente virtual são controlados pelos controles analógicos. Os passes durante os testes de tomada de decisão se dão por apontar para o jogador desejado utilizando o gatilho indicador do dedo esquerdo. Não existe o reconhecimento de imitações de movimentos físicos.

A velocidade de movimentação dos usuários no ambiente virtual é a mesma. Isso é um problema, pois jogadores se movimentam com velocidades diferentes. É fato que durante uma partida de futebol jogadores precisam alternar entre caminhar, correr e trotar de forma quase inconsciente. Por essa padronização do movimento, não se permite avaliar os jogadores que "sabem quando correm"e, pelo fato do usuário não estar cansado, pode ser observado que houve um esforço muito maior de movimentação dos usuários do que do jogador real. Esse esforço se constituía em seguir a bola, deixando um pouco a questão de marcação e abordagem tática de lado.

### 6.3.4 Fidelidade Psicológica

A associação com video games pode ter facilitado a percepção de avatares para a representação de jogadores de futebol. Ainda assim, alguns dos usuários que estavam executando os testes tiveram reações naturais, como se proteger de impactos, caminhar fisicamente em vez de utilizar os controles e até tentar recuperar a bola fisicamente. Reações como "Eu não consigo tocar a bola com o meu pé?"ou "Eles não me tocam a bola?"Foram frequentes durante a seção de testes com os profissionais.

### 6.3.5 Validade da Ferramenta

Para que uma ferramenta de simulação possua validade, ela precisa capturar e reproduzir fielmente as características fundamentais das tarefas reais que se propõe a emular. Considerando que este estudo implementou dois tipos distintos de testes de tomada de decisão e de movimentação, torna-se necessária uma avaliação separada da validade para cada módulo.

Os testes de tomada de decisão consistiram na recriação de protocolos já validados e estabelecidos na literatura especializada. Conforme esperado, os resultados neste

módulo foram positivos: as diferenças de expertise entre os grupos foram claramente identificadas, com os profissionais apresentando um melhor desempenho. Isto demonstra que a ferramenta mostrou-se fiel o suficiente para que os usuários interpretassem adequadamente as situações de jogo e tomassem decisões condizentes com seu conhecimento tático.

Por outro lado, os testes de movimentação representam uma contribuição nova e inédita proposta por este trabalho, para a qual ainda não existem protocolos padronizados ou validados na literatura. Nestes, como amplamente discutido, os padrões esperados de desempenho, em que profissionais se sairiam melhor, não se materializaram. É importante salientar que este resultado não invalida o potencial do método, mas sim indica que os testes propostos, em sua forma atual, não foram capazes de verificá-lo adequadamente. É plausível que fatores metodológicos tenham influenciado este resultado, tais como: tempo insuficiente de treinamento e adaptação à ferramenta, a falta de familiaridade prévia dos participantes com tecnologia de realidade virtual, e o possível mal-estar gerado pelo simulador. Portanto, conclui-se que a validade do módulo de movimentação não pôde ser verificada sob as condições implementadas, necessitando de um refinamento metodológico em estudos futuros para isolamento e controle dessas variáveis intervenientes.

## 6.4 Sobre o Cybersickness

O motion sickness é uma ocorrência natural em sistemas de realidade virtual e se revelou como o principal fator de rejeição entre os profissionais. Este foi um obstáculo significativo durante os testes: dos dez profissionais recrutados, três solicitaram interromper a sessão antes do final devido ao desconforto. Na etapa de feedback, seis dos dez profissionais afirmaram que não utilizariam a ferramenta diariamente para treino, sendo que, deste grupo, quatro justificaram a decisão diretamente pelo desconforto físico experimentado.

Esse mal-estar pode ser atribuído a uma combinação de fatores. Em primeiro lugar, os profissionais demonstram, em geral, uma menor familiaridade com tecnologia e jogos em comparação com os universitários. Essa falta de habituação pode tê-los tornado mais suscetíveis aos sintomas. Além disso, é plausível que a pressão por desempenhar bem em sua própria área de expertise, somada à sobrecarga cognitiva de aprender a operar um sistema novo durante a tarefa, tenha contribuído para a pior experiência relatada.

A própria natureza do movimento simulado é outro elemento central. Simular uma

partida de futebol exige que o usuário se movimente na velocidade real do jogo, o que implica rotações bruscas de câmera, acelerações e desacelerações rápidas. Esses estímulos visuais e vestibulares são conhecidos por induzir enjoo. É sintomático que os sintomas tenham sido muito menos reportados nos cenários de tomada de decisão, onde o usuário permanecia parado e tinha tempo para analisar a situação. Este é, provavelmente, um dos motivos pelos quais existem poucas ferramentas de RV que simulam fielmente a movimentação de jogadores em tempo real, já que o desafio técnico de criar uma experiência confortável é considerável. Dos usuários que testaram o sistema completo, apenas sete não relataram qualquer sintoma de motion sickness, destacando que a mitigação desse desconforto é a primeira e mais crítica barreira a ser transposta para a adoção prática dessa tecnologia.

Dos seis profissionais testados, quatro afirmaram que não utilizariam a ferramenta. O principal motivo foi discutido na Seção 6.4, além de suas possíveis causas na Seção 6.1.5. A natureza dinâmica da simulação, que incorpora rotações bruscas, acelerações repentinas e mudanças abruptas de direção para recriar fielmente a movimentação do jogador real, gerou um conflito sensorial, desencadeando sintomas de enjoo e desconforto físico. Além disso, a pressão por um bom desempenho em sua própria área de expertise, somada à sobrecarga cognitiva de dominar a interface em tempo real, amplificou essa suscetibilidade para o grupo dos profissionais, como é ilustrado na Figura 5.2. Durante o desenvolvimento da ferramenta, estratégias de mitigação foram progressivamente implementadas, incluindo a redução controlada da imersão através do desacoplamento parcial dos movimentos da câmera em relação ao objeto do usuário e a introdução de um mecanismo de atração visual suave para a direção de visão do jogador real, em substituição à réplica integral dos movimentos de cabeça do jogador, tudo a fim de reduzir ao máximo os desconfortos causados aos usuários durante o experimento principal. Contudo, tais ajustes mostraram-se apenas parcialmente eficazes. Os sintomas persistiram e, de forma mais acentuada, durante os testes de movimentação, descritos nas Seções 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, que exigiam navegação ativa e contínua no ambiente virtual, e foram o motivo pelo qual alguns usuários abandonaram os testes. A ordem fixa de aplicação dos testes impossibilitou isolar com rigor a contribuição específica de cada tarefa para o desconforto reportado, uma vez que a fadiga acumulada e a exposição prolongada podem ter exacerbado os sintomas nos testes subsequentes.

## 6.5 Aspectos que contribuíram para o sucesso da aplicação

Nesta seção serão apresentados os itens que funcionaram durante o andamento da dissertação.

### 6.5.1 Visão da Arquibancada

Uma das contribuições mais elogiadas durante as sessões de teste livre foi a visualização em modo arquibancada. A imersão proporcionada por essa perspectiva foi frequentemente descrita pelos usuários como extremamente realista, com vários participantes comentando espontaneamente que a experiência assemelhava-se a "assistir a uma partida real". Essa reação positiva evidencia o potencial da ferramenta para auxiliar a experiência de espectadores que, por diversas razões, como distância geográfica, limitações físicas ou restrições financeiras, não têm acesso presencial aos estádios.

Essa funcionalidade vai além do treinamento atlético e aponta para uma aplicação valiosa no âmbito do entretenimento esportivo e do engajamento de fãs. Ao oferecer uma experiência virtual imersiva e socialmente compartilhável, a tecnologia pode tornar o esporte mais acessível e conectado, permitindo que fãs em diferentes partes do mundo vivenciem partidas como se estivessem nas arquibancadas. Esse aspecto, ainda que não fosse o foco principal do estudo, surgiu como um resultado promissor e merece ser explorado em trabalhos futuros, tanto na perspectiva técnica quanto do ponto de vista da experiência do usuário e da inovação em transmissões esportivas.

### 6.5.2 Visualização em Primeira Pessoa

A visualização em primeira pessoa introduziu uma novidade na forma de assistir a uma partida de futebol, uma vez que a transmissão isométrica convencional não permite ao espectador vivenciar a perspectiva dos jogadores. Dessa forma, a visualização em primeira pessoa oferece a liberdade de explorar o campo a partir do ponto de vista do atleta.

No entanto, durante a sua implementação, essa modalidade demandou uma melhoria contínua, pois demonstrou ser inicialmente bastante desconfortável e propensa a induzir o usuário ao enjoo. Isso ocorre devido aos movimentos não naturais percebidos

visualmente quando o usuário, com a cabeça imóvel, observa cenas em primeira pessoa com deslocamentos abruptos. A rejeição sensorial a esse estímulo visual gera um mal-estar quase imediato.

Para mitigar esse efeito, reduziu-se a inversão do movimento, conforme já mencionado na Seção 3.3.7. A imersão foi parcialmente sacrificada em prol de um maior conforto. Desse modo, embora a rotação da âncora do usuário se baseie na âncora do jogador, os movimentos de cabeça não são controlados diretamente pelo objeto pai. Como resultado, se um usuário estivesse girando sua visão para a direita enquanto o jogador real movia a cabeça para a esquerda, a visão do usuário manteria sua rotação original, apenas com uma leve sensação de atração para o ponto de interesse do jogador. Essa solução reduziu consideravelmente o desconforto.

Contudo, como observado nos testes de movimentação e nos dados discutidos na Seção 6.4, tal ajuste pode não ter sido suficiente. Não foi possível determinar com exatidão a principal causa do enjoo e do desconforto relatados pelos profissionais. É possível que a visualização em primeira pessoa ainda cause algum sintoma adverso, sendo recomendável analisá-la isoladamente e em comparação com o sistema de movimentação, a fim de identificar com precisão a origem do problema.

## 6.6 Aspectos que não contribuíram para o sucesso da ferramenta

Nesta seção serão apresentados os itens que acabaram por não dar certo durante o andamento da dissertação.

### 6.6.1 Mapa de Passes e Rede de Passes

Implementou-se, conforme ilustrado nas imagens referenciadas, um sistema de renderização de mapas de passes e de redes de passes, alinhando-se com as discussões apresentadas na literatura especializada citada ao longo do trabalho. Trata-se de visualizações bidimensionais amplamente consolidadas no âmbito da análise futebolística, frequentemente empregadas por plataformas de estatística e estudos de dados para examinar o comportamento tático das equipes. Embora o mapa de passes apresente uma relevância um pouco menor, a rede de passes revela aspectos bastante interessantes acerca do fluxo da bola e das dinâmicas de jogo de diferentes equipes. Entretanto, um problema significa-

tivo residiu na limitação da base de dados disponível, restrita a apenas cinco minutos de jogo, o que é insuficiente, como já mencionado, para embasar análises robustas. A rede de passes é especialmente dependente de um volume maior de dados para evidenciar padrões de comportamento consistentes, o que não foi possível com uma amostra tão curta.

Em virtude disso, optou-se por não aprofundar as análises com base nesses dados, ainda que a funcionalidade tenha sido implementada. A decisão levou em conta a possibilidade, posteriormente não concretizada, de obter um conjunto de dados mais completo. Caso isso tivesse ocorrido, seria viável realizar uma análise abrangente dos 90 minutos de jogo.

Com apenas cinco minutos registrados, a maior troca de passes entre dois jogadores foi de apenas três passes, resultando em arestas muito similares e visualmente pouco informativas, o que comprometeu a clareza e utilidade da representação gráfica.

### 6.6.2 Controles e Tutoriais

O objetivo principal desta ferramenta era recriar uma partida de futebol em um ambiente tridimensional, permitindo que o usuário se movimentasse livremente pelo cenário. Para tanto, foi necessário desenvolver um sistema de movimentação e implementar diversas formas de interação com a cena. Entre as funcionalidades incorporadas, incluem-se: avançar, retroceder, pausar, ativar/desativar trajetórias, visualizar pontos de vista, teleportar para a arquibancada e ativar o mapa de calor.

Devido à limitação de botões disponíveis no controle, algumas dessas funcionalidades tiveram que ser implementadas por meio de comandos compostos, envolvendo a combinação de mais de um botão. Testou-se, por exemplo, a ativação do sprint com um único botão, a exibição de múltiplas trajetórias e outras operações. Consequentemente, tornou-se essencial orientar o usuário sobre como utilizar esses comandos, tarefa que se mostrou consideravelmente complexa.

Foram realizados diversos refinamentos na interface na tentativa de adequar a ferramenta a diferentes perfis de usuários. Inicialmente, imagens ilustrativas foram posicionadas na cena para auxiliar na compreensão dos comandos. No entanto, quando o usuário se afastava dessas imagens, elas perdiam resolução devido a mecanismos de otimização do motor gráfico. Ademais, a implementação de âncoras visuais na mão do jogador não foi bem recebida e mostrou-se pouco intuitiva. Alterações no plano de fundo dessas imagens também não obtiveram resultados satisfatórios.

Posteriormente, optou-se por exibir os botões diretamente nos controles virtuais, de forma permanente. Ainda assim, muitos usuários demonstraram dificuldade em executar as combinações necessárias, mesmo com indicações claras. Em alguns casos, durante o treinamento prévio no modo livre, foi necessário fornecer instruções verbais ou até mesmo auxílio manual para que conseguissem, por exemplo, ativar a visualização em ponto de vista do jogador.

A complexidade residia especialmente no fato de que, para acessar a perspectiva do jogador, era necessário primeiro ativar a trajetória sobre o atleta selecionado e, em seguida, pressionar o botão Y para transportar a câmera para a cabeça do mesmo. Essa sequência mostrou-se particularmente desafiadora para o público profissional, menos familiarizado com convenções de videogames.

Embora os tutoriais implementados tenham simplificado parcialmente o uso da ferramenta, não foram suficientes para resolver completamente os problemas de usabilidade identificados. A curva de aprendizado manteve-se íngreme, e a interface exigiu ajustes contínuos em busca de uma experiência mais intuitiva e acessível.

# 7 CONCLUSÕES

Este trabalho abordou a criação de uma ferramenta interativa, buscando explorar os benefícios da mescla entre RV e dados de mocap, baseada em lacunas identificadas na literatura. Assim, foi idealizada e desenvolvida uma ferramenta robusta o suficiente para ser aplicada tanto para treinamento de atletas quanto para a análise imersiva de dados. Para a sua validação, criou-se um protocolo de testes visando buscar indícios de transferibilidade e medir a aceitação dos usuários. O experimento principal foi composto de uma população dividida em três grupos específicos, universitários, profissionais e iniciantes sub-16, para que pudessem ser encontradas correlações entre o desempenho. A aceitação da ferramenta foi mista, sendo que a vasta maioria das críticas foi direcionada aos sintomas de cybersickness. Esses sintomas podem ter sido desenvolvidos pela rápida natureza do movimento exigido ao usuário, precisando-se movimentar no ambiente imersivo em velocidades similares ao mundo real, ação essa que é responsável por causar esses sintomas. A baixa familiaridade com a tecnologia, pressão por ir bem nos testes e um curto período de adaptação podem também ter agravado os sintomas desenvolvidos.

O futebol é um esporte de alto desempenho e investimento, então se a ferramenta for benéfica para um atleta, melhorando minimamente o seu desempenho, já a torna uma alternativa viável. Apesar de certa rejeição por conta dos sintomas de cybersickness adquiridos, um dos profissionais, quando questionado sobre o valor da ferramenta, falou que "a única forma de melhorar a decisão é jogando e, quando não se está jogando, é necessário encontrar meios de simulá-lo". Se esta ferramenta se propõe a cumprir esse papel, seu propósito encontra-se validado, justificando o seu desenvolvimento.

De acordo com as métricas utilizadas para avaliar os usuários nos testes, os universitários apresentaram desempenho superior ao dos profissionais. No entanto, essa métrica possui relevância limitada, uma vez que ela mensurava apenas a similaridade do movimento do usuário com o jogador real, e jogadores tomam decisões diferentes por conta das suas características individuais, como posição, papel, pré-preferido, etc. Além disso, foi possível observar comportamentos distintos entre os grupos, todos passíveis de explicação ou contextualização. Não foi viável, contudo, testar a efetividade da ferramenta em termos funcionais, como foi feito em outros trabalhos da literatura, devido a restrições de tempo e ao número limitado de participantes treinados; para isso, seria necessária uma gama maior de dados, maior variação de cenários e um uso prolongado dos atletas.

## 7.1 Contribuições

O desconforto durante o uso da ferramenta foi maior do que o previsto, causado principalmente pela alta velocidade, rotações bruscas e visualização em primeira pessoa. Esse problema foi agravado pela inexperiência dos atletas com equipamentos de realidade virtual, cujo contato prévio se limitava basicamente a jogos.

Esses fatores, em conjunto, podem ter influenciado negativamente a experiência, e trabalhos futuros são necessários para investigar tais variáveis de forma isolada e controlada. Apesar disso, se um profissional demonstrasse melhora em suas habilidades no mundo real após o uso da ferramenta, sua validade estaria comprovada.

O processo iterativo de desenvolvimento da ferramenta foi publicado como um artigo, pelo autor, Secco et al. (2025) no evento SVR 2025. Além disso, o projeto **VR Sandbox**, que resultou no artigo Neto et al. (2023) publicado no SVR 2023, serviu como base de aprendizado técnico para a implementação desse projeto.

## 7.2 Trabalhos Futuros

A movimentação do usuário no ambiente virtual é um dos aspectos críticos em uma ferramenta de simulação de situações comuns no futebol. Dessa forma, novos métodos de movimentação podem ser testados. Um deles remove a movimentação linear do usuário, na qual o mesmo teleporta-se à um ponto escolhido por ele e para garantir a consistência, calcula-se um valor de quadro que a cena deverá prosseguir enquanto o mesmo está sendo "arrastado"até o ponto escolhido, isso diminui a interferência analógica da movimentação e pode evitar que casos como os dos profissionais parados aconteçam além do desenvolvimento de sintomas de desconforto. Pode-se testar também um misto entre esses dois sistemas.

Existe uma ideia de apresentação dos cenários, que envolve, em vez do usuário apenas visualizar a cena do ponto de vista do jogador, ele poder rever por vários ângulos (goleiro, arquibancada, banco de reservas, árbitro...), para que tenha contexto completo do que está acontecendo na jogada, dessa forma, fazendo sua movimentação ser mais assertiva.

Para que a transferibilidade seja de fato comprovada, é necessário fazer seções de testes regulares com o público alvo, aplicando seções regulares com a realidade virtual durante alguns meses, comparar com um grupo de controle que apenas fez o treinamento

da forma a não ter contato com a ferramenta e após esse período, medir se houve alguma diferença nas habilidades desejadas (tomada de decisão e comportamento de busca visual). Dessa forma, haverá provas e não apenas indícios dos benefícios do treino com essa ferramenta. Mais importante ainda, como já destacado na Seção 6.2, conseguir obter esses dados de forma mais dinâmica torna-se fundamental para que a ferramenta tenha validade para treinar usuários em cenários novos. Pois com os dados atuais não é possível.

Além disso, identificar os fatores críticos que influenciam a transferência de habilidades, como a fidelidade do ambiente virtual, a frequência e duração do treinamento e as características individuais dos participantes. Isso ajudará a estabelecer diretrizes mais sólidas para o uso da RV como ferramenta de treinamento eficaz e aplicável a diferentes contextos do mundo real.

# REFERÊNCIAS

ALIZADEHSALEHI, S.; HADAVI, A.; HUANG, J. C. Virtual Reality for Design and Construction Education Environment. In: **AEI 2019**. Tysons, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2019. p. 193–203. ISBN 978-0-7844-8226-1. Available from Internet: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784482261.023>.

BONFERT, M. et al. The interaction fidelity model: A taxonomy to communicate the different aspects of fidelity in virtual reality. **International Journal of Human–Computer Interaction**, Taylor & Francis, v. 0, n. 0, p. 1–33, 2024. Available from Internet: <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2400377>.

BROOKE, J. System usability scale (sus): a quick-and-dirty method of system evaluation user information. **Reading, UK: Digital equipment co ltd**, v. 43, p. 1–7, 1986.

BURDEA, G. **Virtual reality technology**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003.

CHECA, D.; BUSTILLO, A. A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. **Multimedia Tools and Applications**, v. 79, n. 9-10, p. 5501–5527, mar. 2020. ISSN 1380-7501, 1573-7721. Available from Internet: <http://link.springer.com/10.1007/s11042-019-08348-9>.

CHOU, C.; HSU, H.-L.; YAO, Y.-S. Construction of a virtual reality learning environment for teaching structural analysis. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 5, n. 4, p. 223–230, 1997. ISSN 1061-3773, 1099-0542. Available from Internet: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1099-0542(1997)5:4<223::AID-CAE1>3.0.CO;2-F>.

CHU, X. et al. Tivee: Visual exploration and explanation of badminton tactics in immersive visualizations. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 28, n. 1, p. 118–128, 2022.

COVACI, A.; OLIVIER, A.-H.; MULTON, F. Visual perspective and feedback guidance for vr free-throw training. **IEEE computer graphics and applications**, IEEE, v. 35, n. 5, p. 55–65, 2015.

FILHO, J. A. W. et al. Immersive visualization of abstract information: An evaluation on dimensionally-reduced data scatterplots. In: IEEE. **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. [S.l.], 2018. p. 483–490.

FORTES, L. S. et al. Virtual reality promotes greater improvements than video-stimulation screen on perceptual-cognitive skills in young soccer athletes. **Human Movement Science**, v. 79, p. 102856, oct. 2021. ISSN 01679457. Available from Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167945721001044>.

GOTTINI, G.-A. **Quantitative Analysis of Football Goalkeeper Positioning**. Dissertation (Master), 2023.

GRAY, R. Transfer of training from virtual to real baseball batting. **Frontiers in psychology**, Frontiers Media SA, v. 8, p. 2183, 2017.

GRAY, R. Virtual environments and their role in developing perceptual-cognitive skills in sports. In: **Anticipation and decision making in sport**. [S.l.]: Routledge, 2019. p. 342–358.

GURUSAMY, K. et al. Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. **Journal of British Surgery**, Oxford University Press, v. 95, n. 9, p. 1088–1097, 2008.

GYARMATI, L.; KWAK, H.; RODRIGUEZ, P. Searching for a unique style in soccer. **arXiv preprint arXiv:1409.0308**, 2014.

HAQUE, S.; SRINIVASAN, S. A meta-analysis of the training effectiveness of virtual reality surgical simulators. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, IEEE, v. 10, n. 1, p. 51–58, 2006.

HARRIS, D. et al. To err again is human: exploring a bidirectional relationship between pressure and performance failure feedback. **Anxiety, Stress, Coping**, v. 32, p. 1–9, 07 2019.

HARRIS, D. J. et al. A framework for the testing and validation of simulated environments in experimentation and training. **Frontiers in Psychology**, Frontiers Media SA, v. 11, p. 605, 2020.

HART, S. G.; STAVELAND, L. E. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In: HANCOCK, P. A.; MESHKATI, N. (Ed.). **Human Mental Workload**. North-Holland, 1988, (Advances in Psychology, v. 52). p. 139–183. Available from Internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166411508623869>.

HERRMANN, F.; KRÜGER, S.; LENSING, P. Mocaco: A simulator framework for motion capture comparison. In: **VISIGRAPP (1: GRAPP)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 193–200.

HURTER, C. et al. Fiberclay: Sculpting three dimensional trajectories to reveal structural insights. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, IEEE, v. 25, n. 1, p. 704–714, 2018.

KAMEOKA, Y.; YAMAMOTO, Y. Visualization of process of shoot and goal in soccer games. In: IEEE. **2014 Twelfth International Conference on ICT and Knowledge Engineering**. [S.l.], 2014. p. 12–17.

KENNEDY, R. S. et al. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. **Int. J. Aviat. Psychol.**, Informa UK Limited, v. 3, n. 3, p. 203–220, jul. 1993.

KITTEL, A. et al. Using 360° virtual reality as a decision-making assessment tool in sport. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 22, n. 9, p. 1049–1053, sep. 2019. ISSN 14402440. Available from Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244018310715>.

KITTEL, A. et al. Effectiveness of 360° virtual reality and match broadcast video to improve decision-making skill. **Science and Medicine in Football**, v. 4, n. 4, p. 255–262, oct. 2020. ISSN 2473-3938, 2473-4446. Available from Internet: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24733938.2020.1754449>.

KRAUS, M. et al. Immersive Analytics with Abstract 3D Visualizations: A Survey. **Computer Graphics Forum**, v. 41, n. 1, p. 201–229, feb. 2022. ISSN 0167-7055, 1467-8659. Available from Internet: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cgf.14430>.

LAMMFROMM, R.; GOPHER, D. Transfer of skill from a virtual reality trainer to real juggling. In: . [s.n.], 2011. Available from Internet: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55997461>.

LARKIN, P.; MESAGNO, C.; SPITTLE, M. An evaluation of video-based training programs for perceptual-cognitive skill development.

LERNER, M. A. et al. Does training on a virtual reality robotic simulator improve performance on the da vinci® surgical system? **Journal of Endourology**, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 24, n. 3, p. 467–472, 2010.

LIU, C.; LIU, Y.; NI, K. Motion capture method for college basketball training based on ar/vr technology. **Applied Mathematics and Nonlinear Sciences**, 2023.

LIU, D. et al. (Ed.). **Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education**. Singapore: Springer Singapore, 2017. (Smart Computing and Intelligence). ISBN 978-981-10-5489-1 978-981-10-5490-7. Available from Internet: <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5490-7>.

MACHADO, V. et al. Visual soccer match analysis using spatiotemporal positions of players. **Computers Graphics**, v. 68, p. 84–95, 2017. ISSN 0097-8493. Available from Internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849317301358>.

MALQUI, J. L. S. et al. How do soccer teams coordinate consecutive passes? a visual analytics system for analysing the complexity of passing sequences using soccer flow motifs. **Computers & Graphics**, Elsevier, v. 84, p. 122–133, 2019.

NARIZUKA, T.; YAMAMOTO, K.; YAMAZAKI, Y. Statistical properties of position-dependent ball-passing networks in football games. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier, v. 412, p. 157–168, 2014.

NETO, J. et al. Immersive data analysis for planning military operations: Design and think-aloud study. In: **Proceedings of the 25th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2023, Rio Grande, Brazil, November 6-9, 2023**. ACM, 2023. p. 66–76. Available from Internet: <https://doi.org/10.1145/3625008.3625019>.

NETTO, A. V.; MACHADO, L. d. S.; OLIVEIRA, M. C. F. d. Realidade virtual-definições, dispositivos e aplicações. 2002.

NEVILL, A.; BALMER, N.; Mark Williams, A. The influence of crowd noise and experience upon refereeing decisions in football. **Psychology of Sport and Exercise**, v. 3, n. 4, p. 261–272, 2002. ISSN 1469-0292. Available from Internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1469029201000334>.

OAGAZ, H.; SCHOUN, B.; CHOI, M.-H. Performance improvement and skill transfer in table tennis through training in virtual reality. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, IEEE, v. 28, n. 12, p. 4332–4343, 2021.

OLDFIELD, J.; OLDFIELD, R.; AND, D. H. The effects of different types of crowd noise on penalty taking performance in football. **International Journal of Sport and Exercise Psychology**, Routledge, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2024. Available from Internet: <https://doi.org/10.1080/1612197X.2024.2432996>.

PAGé, P.-M. B. C.; TREMPE, M. Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball. **Journal of Sports Sciences**, Routledge, v. 37, n. 21, p. 2403–2410, 2019. PMID: 31280685.

PANCHUK, D.; KLUSEMANN, M. J.; HADLOW, S. M. Exploring the Effectiveness of Immersive Video for Training Decision-Making Capability in Elite, Youth Basketball Players. **Frontiers in Psychology**, v. 9, p. 2315, nov. 2018. ISSN 1664-1078. Available from Internet: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.02315/full>.

PELARGOS, P. E. et al. Utilizing virtual and augmented reality for educational and clinical enhancements in neurosurgery. **Journal of Clinical Neuroscience**, v. 35, p. 1–4, jan. 2017. ISSN 09675868. Available from Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967586816303162>.

PERIN, C.; VUILLEMOT, R.; FEKETE, J.-D. Soccerstories: A kick-off for visual soccer analysis. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, IEEE, v. 19, n. 12, p. 2506–2515, 2013.

PERIN, C. et al. State of the art of sports data visualization. In: WILEY ONLINE LIBRARY. **Computer Graphics Forum**. [S.l.], 2018. v. 37, n. 3, p. 663–686.

RATHKE, A. An examination of expected goals and shot efficiency in soccer. **Journal of Human Sport and Exercise**, Universidad de Alicante, v. 12, n. 2, p. 514–529, 2017.

REASON, J.; BRAND, J. **Motion Sickness**. Academic Press, 1975. ISBN 9780125840507. Available from Internet: <https://books.google.com.br/books?id=JMxrAAAAMAAJ>.

RODRIGUES, G. P.; PORTO, C. de M. et al. Realidade virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. **Interfaces Científicas-Educação**, v. 1, n. 3, p. 97–109, 2013.

RUSU, A. et al. Dynamic visualizations for soccer statistical analysis. In: IEEE. **2010 14th International Conference Information Visualisation**. [S.l.], 2010. p. 207–212.

SCHMIDT, I. G. **Fitting your own football xG model**. 2020. <https://www.datofutbol.cl/blog/xg-model/>.

SECCO, O. et al. Towards an effective VR system for training soccer athletes. In: **2025 SVR - Symposium on Virtual and Augmented Reality**. Salvador, BA, Brazil: Sociedade Brasileira de Computação, 2025. Anais do SVR 2025, evento conjunto com SBGAMES 2025 e SIBGRAPI 2025.

SEYMOUR, N. E. et al. Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance: Results of a Randomized, Double-Blinded Study. **Annals of Surgery**, v. 236, n. 4, p. 458–464, oct. 2002. ISSN 0003-4932. Available from Internet: <http://journals.lww.com/00000658-200210000-00008>.

SILVA, V. B. d. et al. Uma abordagem para análise e monitoramento de simulator sickness em ambientes de realidade virtual. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2017.

SOUSA, M.; ALVES, L. Dizziness kids app – teste de usabilidade de aplicativo gamificado para tratamento de crianÇas com tontura. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde - ISSN:2236-1103**, v. 10, p. 14, 04 2021.

SOUZA, J. I. A eficácia do treino de realidade virtual em atletas. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 35, n. 2, p. 123–135, 2021. Available from Internet: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/EEFF-BBYUL2/1/josiane.pdf>.

VINE, S. J. et al. Individual reactions to stress predict performance during a critical aviation incident. **Anxiety, Stress, & Coping**, Taylor & Francis, v. 28, n. 4, p. 467–477, 2015.

WITTE, K. et al. Sports training in virtual reality to improve response behavior in karate kumite with transfer to real world. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 3, p. 903021, sep. 2022. ISSN 2673-4192. Available from Internet: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2022.903021/full>.

WOOD, G. et al. Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. **Virtual Reality**, v. 25, n. 1, p. 43–51, mar. 2021. ISSN 1359-4338, 1434-9957. Available from Internet: <http://link.springer.com/10.1007/s10055-020-00441-x>.

YE, S. et al. Shuttlespace: Exploring and analyzing movement trajectory in immersive visualization. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, IEEE, v. 27, n. 2, p. 860–869, 2020.

ZHANG, C. et al. Whatever could be, could be: Visualizing Future Movement Predictions. In: **2024 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. Orlando, FL, USA: IEEE, 2024. p. 126–136. ISBN 9798350374025. Available from Internet: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10494165/>.

# APÊNDICE A — SOBRE O USO DE IA E LLMS NA ESCRITA DO TEXTO

Neste trabalho, inteligência artificial, IAs generativas, mais especificamente modelos de larga linguagem (LLM), foram utilizados exclusivamente como ferramentas de apoio à redação, edição e formatação. O uso de LLMs se deu por geração de rascunhos, sugestões de reescrita e padronizações, facilitando tarefas de processamento de texto e formatação. Todas as sugestões foram revisadas e validadas manualmente antes de serem aceitas.

Contribuições específicas do LLM neste projeto:

- Formatação e padronização de tabelas em LaTeX, incluindo a adaptação de cabeçalhos e a organização de colunas para as tabelas de registro de movimentação e de comandos de usuário, por exemplo, em 5.3;
- Revisão gramatical, correção de acentuação e reescrita de trechos para melhorar a coerência e a fluidez do texto. As alterações foram verificadas e, quando necessário, ajustadas pelo autor para preservar a precisão técnica;
- Padronização das legendas e referências, incluindo cruzamentos com tabelas e figuras (por exemplo, E.1, 5.1 e 2.1);
- Limpeza e edição das transcrições de entrevistas realizadas na Validação 2, com remoção de vícios de linguagem e organização do conteúdo para apresentação acadêmica (E). As transcrições originais foram preservadas e o texto final resultou de edição humana sobre as sugestões automáticas.

Todas as saídas geradas pelo LLM foram tratadas como rascunhos e prontamente corrigidas pelo autor. As decisões metodológicas, analíticas e interpretativas permaneceram sob responsabilidade exclusiva do autor. Em particular, quaisquer alterações que pudessem afetar resultados ou a interpretação dos dados foram verificadas contra as fontes originais e os registros brutos.

# APÊNDICE B — RENDERIZAÇÃO DOS JOGADORES

Para a renderização dos jogadores, utilizou-se o componente *Line Renderer* do Unity, que permite desenhar linhas conectando múltiplos pontos. Cada ponto correspondente a uma articulação foi representado por uma esfera. Durante o desenvolvimento, observou-se que as coordenadas $Z$ e $Y$ estavam invertidas no sistema. Por conveniência, convencionou-se o uso de $XYZ$ para facilitar a descrição, apesar de a aplicação interpretá-las como $XZY$.

O processo de renderização envolveu a iteração sobre uma lista contendo todas as posições das articulações de cada jogador, inicialmente armazenadas de forma contínua, sem separação em vetores individuais. Essas posições foram agrupadas em trios, gerando, para cada jogador, 24 vetores tridimensionais que representam suas articulações.

Os arquivos JSON fornecidos incluíam um atributo denominado *connections*, que descreve as conexões entre articulações por meio de índices. Contudo, a sequência original dos índices não gerava um modelo correto do jogador, exigindo análise e refatoração. Após ajustes, a sequência de conexões foi redefinida para corrigir a renderização do modelo.

```
Original: [1, 2, 1, 5, 2, 3, 3, 4, 5, 6, 6, 7, 1, 9, 9, 10,
 ↪  10, 11, 1, 12, 12, 13, 13, 14, 1, 0, 0, 15, 15, 17, 0,
 ↪  16, 16, 18, 2, 17, 5, 18]
Ajustado: [1, 16, 0, 17, 1, 0, 16, 17, 0, 1, 5, 6, 7, 6, 5,
 ↪  1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 11, 12, 13, 12, 11, 8, 9, 10, 9,
 ↪  8, 1]
```

# APÊNDICE C — OUTRAS VISUALIZAÇÕES DE PONTO DE VISTA

Após a atualização em cada quadro, buscaram-se formas de visualizar essas câmeras. Assim, foi colocado um plano em forma de “monitor” perpendicular ao chão que renderiza a câmera do último jogador selecionado pelo controle dos óculos de RV. Quando era selecionado um novo jogador, a câmera antiga era desativada e a nova câmera era ativada, assumindo a posição no telão.

Para poder avaliar a tomada de decisão, foram testadas algumas alternativas. A primeira dela foi implementar dois monitores, um para o jogador com a bola dominada e outro para o próximo jogador que fosse tocar na bola. Durante a reprodução da cena, essas telas ficavam alterando conforme a bola passava entre os jogadores. A ideia era poder analisar o que o próximo jogador viu e por que ele teria feito o que fez. Contudo, pela alta velocidade do jogo, acabou por se revelar complexa a interpretação dos acontecimentos, uma vez que, em uma troca rápida de passes entre dois jogadores, ocorreram várias mudanças de ponto de vista. Por isso, essa visualização foi descartada em detrimento da visualização simples do ponto de vista de um jogador específico.

O avatar virtual, providenciado pelo OpenXR chamado de "Sample Rig", é composto por vários componentes. Ao falar de rotação e movimentação, pode-se cair em uma ambiguidade, pois pode-se referir ao objeto dos óculos ou ao próprio objeto do jogador. Existe uma diferença substancial entre ambas, uma vez que o objeto óculos se refere à recriação dentro da cena da posição da cabeça do usuário no mundo real, enquanto a rotação do objeto do jogador se refere à direção na qual o objeto do usuário está virado. Hierarquicamente, o objeto do jogador é ’pai’ do objeto do óculos, ou seja, caso o usuário rotacione ou mova a cabeça, o norte do seu objeto não mudará mas, perceberá a mudança dentro do ambiente virtual. Contudo, caso o objeto do usuário se mova ou se rotacione, a sua visão também sofrerá as mesmas alterações. É importante esclarecer essa diferença, pois as complicações que a implementação da visualização do ponto de vista impuseram são diretamente relacionadas a isso.

Deste modo, foram implementadas as seguintes abordagens: Travar a rotação dos óculos bloqueando qualquer movimentação do objeto, permitindo apenas olhar a cena como "se estivesse com um monitor de computador grudado no seu rosto". No primeiro momento em que foi testada, a abordagem foi imediatamente descartada, pois mostrou-se extremamente desconfortável e antinatural utilizar a RV dessa maneira, apesar de ser a forma mais "realista"de visualizar o ponto de vista. Entretanto, os efeitos de tontura,

vertigem e, consequentemente, da náusea a tornam inviável.

Neste cenário, a rotação do HMD é fixada, ou seja, ele não pode se mover ou rotacionar. A rotação do objeto do usuário é mantida, mas a do HMD é desconsiderada. Com isso, o usuário só pode ver a cena de uma maneira estática, sem a capacidade de mover a cabeça ou olhar para os lados. Caso fizer, sua visão será centrada novamente, seguindo o vetor da rotação do jogador do qual está sendo visualizado o ponto de vista.

Esta forma de visualizar também se tornou desconfortável, afinal, a rotação do jogador e a visão do HMD do usuário não estão sincronizadas, causando desconforto; por isso, foi modificada para a segunda opção que foi implementada.

A segunda implementação foi manter a posição do objeto do usuário fixa no ponto central do jogador-alvo, deixando o HMD livre para rotacionar. Essa implementação melhorou os desconfortos sentidos na abordagem passada, porém, alguns problemas surgiram. Por manter o pescoço do usuário liberado, frequentemente, quando a visão era alternada e o jogador rotacionava-se, o usuário perdia o norte do jogador, o que causava confusão. Outro problema que surgia era que quando o mesmo se movimentava "fisicamente", seu objeto não respondia no ambiente imersivo, fazendo-o perder o seu equilíbrio. Isso novamente causava tontura e náusea, além de transformar a visualização em uma forma de VR360. Para corrigir isso, implementou-se a versão final.

Neste caso, a posição do objeto do usuário é fixa no ponto central do jogador-alvo, enquanto o HMD pode rotacionar livremente. O problema dessa abordagem é que, por não possuir nenhuma referência visual do ponto de vista do jogador-alvo, o usuário perde a noção de direção do olhar do jogador real, causando confusão.

# APÊNDICE D — SESSÃO DE VALIDAÇÃO I - TESTE DO CENÁRIO DE MOVIMENTAÇÃO

A seção abaixo descreve a motivação e aplicação do teste com o cenário de movimentação, cenário no qual o usuário visualiza o ponto de vista de um jogador predefinido, analisando o seu arredor e, após um tempo fixo, "assume o controle"do jogador, movimentando-se no mundo virtual como se fosse o mesmo.

No momento da execução desses testes, a ferramenta estava em um estágio inicial de desenvolvimento e muitas das características e implementações que futuramente foram utilizadas nesse momento não estavam disponíveis. Naquele momento, os testes foram executados enquanto o usuário estava sentado. As instruções do teste foram dadas de forma oral para cada usuário durante o período de adaptação. Não havia sistema de legendas pronto e apenas um cenário de movimentação foi avaliado.

## D.1 Hipóteses

Apesar de relevante, o ponto principal deste teste é coletar críticas construtivas, refinando os testes a ponto de não se ter falhas quando forem executados os experimentos finais. Por conta disso, prepararam-se as seguintes hipóteses.

- **Hipótese H1**: Usuários com experiência em VR se movimentarão mais fielmente do que usuários sem experiência;
- **Hipótese H2**: Usuários com maior familiaridade com o futebol se movimentarão melhor do que usuários que não a possuem;
- **Hipótese Nula**: O nível de expertise dos usuários é muito baixo para que seja identificada alguma correlação.

## D.2 Materiais e Métodos

Nesta seção serão descritos as condições experimentais, os participantes e os procedimentos dos experimentos.

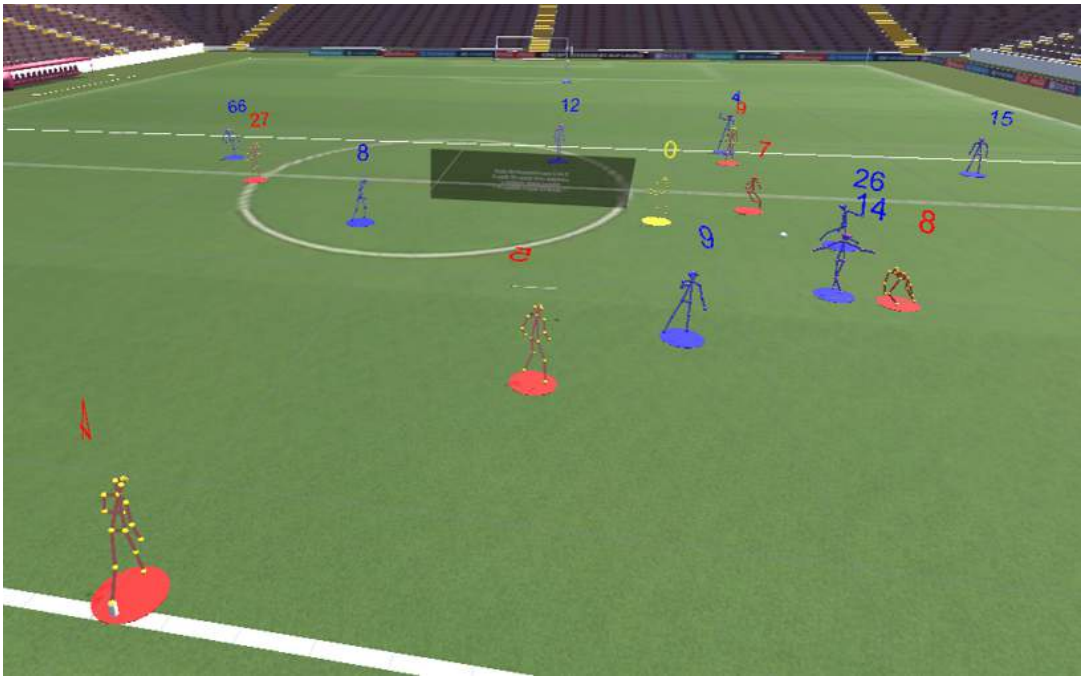



Figura D.1 – Cenário utilizado para testar a movimentação do usuário. O usuário assume o papel do jogador vermelho número 5 (mostrado no centro da imagem); o passe é executado pelo jogador 26 azul.

### D.2.1 Condições Experimentais e Aparelhagem

O cenário é projetado para que o participante realize uma ação de movimentação de marcação enquanto visualiza o ponto de vista de outro jogador.

O objetivo principal é observar a movimentação do usuário na execução da tarefa para poder comparar com o jogador real. É possível ver o cenário do teste na Figura D.1. Além de coletar um parecer do usuário sobre o estado atual da ferramenta. Os testes foram executados utilizando os óculos *Quest 2* de forma conectada no computador enquanto o usuário estava sentado. As instruções do teste foram dadas de forma oral para cada usuário durante o período de adaptação.

### D.2.2 Participantes

19 estudantes se voluntariaram a testar a ferramenta. Não foi feita aos participantes nenhuma pergunta que os identificasse de forma pessoal, apenas a familiaridade com o futebol, suas táticas e a realidade virtual.

Desses, apenas três não tinham experiência com realidade virtual. Além disso, a maioria dos envolvidos respondeu ter pouca familiaridade com o futebol e ainda menos

entendimento sobre táticas e posicionamentos dos jogadores.

### D.2.3 Procedimentos

Inicialmente, os usuários responderam um formulário de caracterização com três perguntas:

1. *"Você tem alguma experiência com a Realidade Virtual?"*;
2. *"De 0 a 5, qual a sua familiaridade com o futebol?"*;
3. *"De 0 a 5, qual é o seu entendimento sobre táticas e posicionamentos dos jogadores em uma partida de futebol?""*.

Os comandos utilizados para o teste foram:

- *Analógico do controle esquerdo*: Movimentava o usuário
- *Analógico do controle direito*: Rotacionava o usuário
- *Botão A*: Continua a cena

Após isso, o usuário tem um momento de adaptação para se familiarizar com os comandos da ferramenta.Adaptado, o usuário tem seu movimento travado e seu ponto de vista definido com o do jogador-alvo, sem restringir a rotação da câmera para interpretar os arredores da cena. No momento em que o jogador do time adversário efetua o passe, a cena é pausada por completo e a rotação da câmera do usuário é bloqueada. Assim, o ângulo de visão do usuário permanece o mesmo do jogador a quem assume a posição, podendo apenas movimentar a cabeça pelo HMD, tendo tempo indeterminado para analisar a situação e preparar para continuar a cena, movimentando-se como se fosse o próprio jogador.

Ao apertar o botão de continuar, o modelo do jogador é desabilitado, "apagando-o"da cena. O movimento e a rotação do usuário são ativados e o mesmo se movimenta como se fosse o próprio jogador pela duração da jogada.

Nesse momento, o sistema gravou a posição para cada quadro do jogo do usuário junto com a posição do jogador real, tendo, assim, ao final do teste, o traçado do movimento do usuário para poder comparar com o real do jogador conforme descrito na Seção 3.3.8. Após o passe ser concluído, a cena foi pausada novamente; o jogador real teve seu corpo ativado e o usuário continuou se movimentando livremente.

Com os testes concluídos, é respondido o formulário de pós-teste, no qual foram

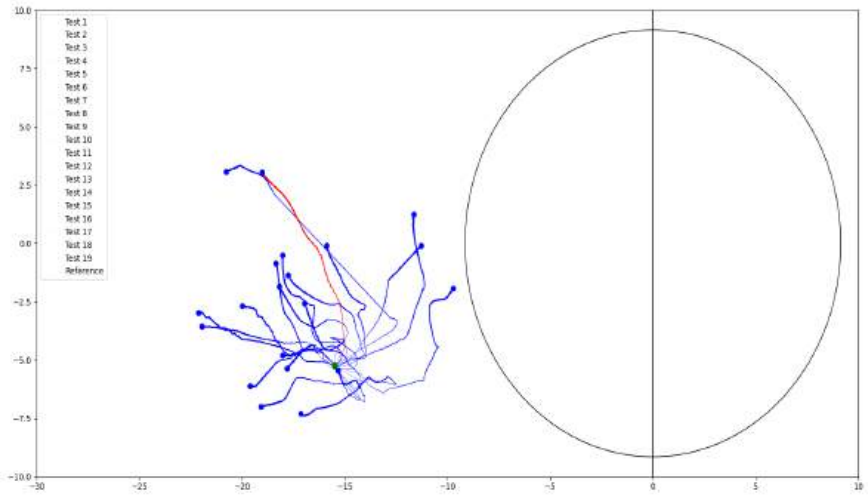



Figura D.2 – Resultados da movimentação em contraste com a real (cor vermelha). A quanto mais espessa a linha, mais recente a movimentação.

feitas as seguintes perguntas:

- De 0 a 5, o quão confortável foi utilizar a ferramenta?
- De 0 a 5, os comandos da ferramenta foram intuitivos?
- De 0 a 5, o quão clara foi a descrição do teste?
- Você acha que a preparação para o teste foi suficiente? (sim/não)
- Você acha que os seus conhecimentos sobre o futebol influenciaram o seu desempenho no teste? (sim positivamente, sim negativamente, não influenciaram)
- De 0 a 5, particularmente, você acha que desempenhou bem no teste?

Após esse formulário, o teste foi dado como finalizado.

## D.3 Resultados

Abaixo, seguem os comentários dos usuários nos formulários:

- *"Não consegui chegar onde queria, dava pra correr mais?"*
- *"muito legal"*
- *"poderia ter um comando para apagar todas trajetórias"*
- *"A movimentação dos jogadores é muito fiel, justifica o tamanho dos arquivos pra representar essa gravação, muito bom!"*
- *"Achei legal a função de poder avançar e retroceder na exibição e a possibilidade*

*de ver de diferentes ângulos."*

- *"Única coisa que me incomoda um pouco é movimentação da visão na mão direita ser travada e não bem fluída"*
- *"de primeira n tinha entendido ser de qual time, talvez primeiro olhar da arquibancada e depois na visão do jogador"*
- *"Achei bem interessante a proposta, gostei da possibilidade de poder pensar e decidir o movimento que eu ia fazer, e gostei também dos controles de manipular onde a cena está."*
- *"Rotação da câmera livre é estranha"*

### D.4 Discussão

Um problema que foi identificado é que, pelo fato do botão responsável por continuar o replay ser instantâneo, todos os usuários acabaram por perder alguns segundos de jogo, o que só foi percebido após a conclusão desses testes. Para visualizar e poder fazer alguma comparação, foram removidos 50 quadros do início, o que corresponde a 37% dos dados capturados, o que, se não invalidar o teste, compromete drasticamente a validade do mesmo. Para corrigir isso, implementou-se a solução discutida em F relacionada à alteração gradual de velocidade ao pausar e continuar a gravação.

A primeira ideia de testes era, na verdade, medir a diferença das distâncias finais, mas, após os resultados dos testes, por motivos que serão discutidos abaixo, foi alterada para comparar a trajetória entre usuário e real.

O primeiro usuário a testar foi uma pessoa selecionada que já possuía conhecimento com a ferramenta, além de já saber que não possuía grande conhecimento de futebol. Foi chamado para que pudesse ser testado o protocolo, se não havia nenhuma falha nem erro de lógica na implementação do mesmo.

Dos feedbacks que foram dados durante o teste, relevam-se os seguintes:

- O tempo de adaptação foi muito curto;
- Por não conhecer de futebol, o contexto da jogada e do que estava acontecendo ficou muito confuso;
- Foi necessário alterar alguns detalhes da explicação que não haviam sido falados para o primeiro testador, incluindo explicar as cores dos jogadores (vermelho e azul), sendo que o jogador escolhido era vermelho;

- Explicar que o jogador escolhido era defensor e que o adversário estava atacando.

Foi sugerido adicionar o modo de locomoção por teletransporte, que, após discussão, percebeu não fazer sentido para o propósito do teste, que era medir a movimentação do usuário e compará-la com a do jogador.

As mensagens de texto para o usuário foram alteradas a fim de facilitar a interpretação.

1. *"A partir de agora você assumirá o controle desse jogador"*;
2. *"Ele é um (POSIÇÃO) do time (COR)"*;
3. *"Mova-se e posicione-se como se fosse você jogando"*;
4. *"Após apertar o Botão A, a jogada continuará"*.

Além de apenas um teste, foram criados mais dois cenários para que seja possível comparar o desempenho dos usuários em outras posições de jogadores. Assim, ficaram definidas as seguintes três jogadas que replicam diferentes situações de jogo.

- Defendendo como um volante do time vermelho na defesa, enquanto o adversário tem a posse da bola;
- Marcando como um ponta (extremo) do time azul enquanto o adversário tem a posse na sua defesa;
- Contra-atacando como um centroavante do time vermelho, movendo e posicionando na área para um cruzamento.

Com esses três cenários, podemos ter uma ideia de como o comportamento dos jogadores varia de acordo com a posição em que jogam. Com isso, podemos verificar se há alguma correlação entre a posição do jogador e o desempenho geral na tarefa. Esses cenários serão testados na terceira sessão de testes, descrita em F, e serão aplicados no experimento principal, descrito em 5.

Novamente, antes do usuário executar essa tarefa, o mesmo será colocado em um cenário de treinamento. Esse cenário tem como intuito fazer com que o jogador se acostume com a mecânica de movimentação no mundo virtual. O cenário preparatório é construído colocando-o em uma extremidade da linha do meio de campo e pedindo para que ele siga pela linha até o outro lado, enquanto mantém o olhar fixo na bola. O texto apresentado é o seguinte:

1. *"Esse treinamento tem o intuito de acostumá-lo com a movimentação da ferramenta",*

2. *"Você deverá atravessar o campo de uma lateral para a outra sem sair da linha do meio-campo olhando para a bola",*
3. *"É muito importante que você acompanhe a bola sem a perder de vista"*

A correlação observada na Figura D.1 não foi significativa, mas observam-se indícios de que a familiaridade com o futebol e a habilidade do usuário podem ser diretamente relacionadas aos melhores resultados.

| **Variável** | **Correlação** | **Correlação (com offset)** |
|---|---|---|
| Experiência com RV | 0.0777 | 0.1207 |
| Familiaridade com Futebol | 0.3802 | 0.3326 |
| Entendimento de Táticas | 0.3804 | 0.4013 |
| Conforto | 0.1651 | 0.2497 |
| Intuição de Comandos | 0.1131 | -0.0336 |
| Clareza na Instrução | 0.3368 | 0.6347 |
| Preparação para o Teste | -0.0209 | 0.1549 |
| Influência do Conhecimento de Futebol no Teste | 0.1644 | 0.0596 |
| Opinião sobre o Desempenho no Teste | 0.2016 | 0.1900 |

Tabela D.1 – Correlação entre variáveis (sem e com offset a partir do 50º quadro).

Dessa forma, apesar de não poderem ser provadas as hipóteses definidas, os indícios obtidos, principalmente na relação de familiaridade com futebol e táticas, foram considerados satisfatórios.

# APÊNDICE E — SESSÃO DE VALIDAÇÃO II - TESTE DO CENÁRIO DE TOMADA DE DECISÃO

A finalidade desses testes foi validar os cenários de tomada de decisão. Os testes consistem em colocar o usuário no ponto de vista de um jogador durante a recepção de um passe e, após receber a bola, analisar a cena ao seu redor e dizer qual seria a sua escolha de ação nesse lance.

Optou-se por manter o usuário inteiramente imerso na cena, utilizando os novos controles e as ferramentas implementadas após testes anteriores para fazer todas as interações referentes aos testes, evitando interferência externa.

Nesse momento da ferramenta, as respostas são dadas verbalmente e registradas através de um gravador de áudio. Um sistema preliminar de legendas foi implementado para que o usuário leia as instruções de cada tarefa. Os cenários não envolvem locomoção dentro da cena, são apenas

## E.1 Hipóteses

O caráter desse experimento foi predominantemente exploratório, por isso, optou-se por não preparar hipóteses para o mesmo

## E.2 Materiais e Métodos

### E.2.1 Condições Experimentais e Aparelhagem

Primeiramente, entrou-se em contato com o treinador do time de futebol de Educação Física da UFRGS que é responsável pelas seções de treinamento aberto. Foram feitas uma demonstração da ferramenta e uma entrevista, envolvendo o mesmo e outro jogador, coletaram-se feedbacks dos mesmos e serão retratados na seção de discussão deste capítulo.

Os testes foram executados utilizando o óculos Quest 2 assim como na Seção D Dessa vez, os dados se deram através da gravação de voz dos usuários para que futuramente as respostas sejam transcritas e analisadas.

O protocolo SUS foi aplicado para validar a usabilidade da ferramenta. Diferen-

temente da Seção D, esses testes foram executados em pé para que os usuários tivessem maior fidelidade e facilidade para rotacionar o corpo, olhando ao seu redor para buscar informação.

### E.2.2 Participantes

A população totaliza-se em 8 estudantes de educação física da UFRGS que participavam dos treinos abertos de futebol. Não foi questionado sobre idade, gênero ou sexo nem sobre efeitos de cybersickness que pudesse estar sentindo. Da população, apenas uma pessoa havia utilizado mais de 5 vezes aparelhos de realidade virtual, sendo que a maioria não havia testado ou testado apenas uma vez. Com exceção de um que respondeu eventualmente, todos assistem futebol diariamente além da vasta maioria se considerar muito familiar com as táticas que envolvem o esporte.

### E.2.3 Procedimentos

O usuário visualizará o ponto de vista do jogador escolhido por 3 segundos até receber um passe de um colega de equipe. Foram selecionadas 10 jogadas para que os usuários decidissem para quem passar. Os cenários estão com as equipes embaralhadas, então, a cor do jogador alvo poderá divergir, exigindo que o usuário preste atenção neste detalhe.

A ideia é permitir que o usuário assista por um lance por um intervalo de tempo antes de receber um passe, para se situar dentro da jogada. Após isso, o jogador que o usuário está visualizando receberia o passe e teria que tomar a decisão em três etapas:

- Escolher quem passou a bola
- Quais opções para passes estão disponíveis
- A escolha de passe para o lance

Antes da execução desse teste, o usuário passa por uma seção de adaptação, conhecendo os comandos que deverá utilizar durante o teste, esse momento é chamado Pre-Teste 1.

## E.3 Resultados

O resultado do SUS foi de 74.6875, deixando a ferramenta na classe B.

Além de ser aplicado o questionário SUS, foram feitas perguntas para serem respondidas de 0 a 5, sendo 0 extremamente negativo e 5 extremamente positivo. Segue na Figura E.1 que também possui as médias e os desvios padrão:

| **Pergunta** | **Média** | **Desvio Padrão** |
|---|---|---|
| Ao visualizar o ponto de vista do jogador, o movimento que o mesmo fazia com a cabeça prejudicou a sua experiência? | 2.125 | 1.839 |
| O quão útil foi o traçado das trajetórias dos jogadores? | 4 | 0.286 |
| A visualização de jogadores "palito"prejudicou a compreensão da cena? | 3 | 2.286 |
| O quão fácil foi identificar a diferença entre as equipes? | 4.125 | 1.268 |
| O quão fácil foi localizar o lado de ataque da sua equipe? | 3.375 | 1.696 |
| Foi fácil identificar a profundidade da cena e o quão distantes os jogadores estavam? | 3.875 | 1.554 |

Tabela E.1 – Resultados sumarizados do questionário

## E.4 Discussão

### E.4.1 Elaboração e Pré-Execução dos Testes

Durante a seção de validação com o treinador, ainda enquanto a elaboração dos testes estava em andamento, foram enfrentadas algumas dificuldades de decisão sobre a elaboração desses testes:

- O usuário deveria jogar em "tempo real"?;
- Deveria-se limitar o usuário por tempo? Se sim;
- Quanto tempo entre cada tarefa o usuário deveria ter?;

- O usuário deveria ser livre para olhar ao redor ou sua visão deveria ser centralizada com o jogador?

Embora a implementação proposta visasse facilitar o processamento dos dados em futuras análises, observou-se que as diferenças entre a interação verbal e a necessidade de utilizar o controle para alternar entre os jogadores resultaram em um desperdício de tempo significativo. Esse problema foi evidenciado quando alguns usuários selecionaram o jogador incorreto e não tiveram tempo para corrigir a escolha, enquanto outros nem sequer conseguiram realizar a seleção do jogador. Em decorrência disso, optou-se por implementar essa funcionalidade de forma "offline", uma vez que a perda de tempo gerada poderia comprometer as comparações com cenários do mundo real. Diante disso, desde o início do estudo, ficou claro que a avaliação de "decisões sob pressão"não seria viável no contexto do experimento.

Assim, decidiu-se conceder tempo ilimitado ao usuário durante a execução das tarefas. A seção de testes e prática foi mantida de curta duração, e qualquer exigência de desempenho que demandasse expertise no uso da ferramenta poderia afetar negativamente os resultados do experimento. Além disso, durante os testes, os participantes estavam com a rotação analógica desabilitada, o que obrigava o usuário a rotacionar fisicamente o pescoço caso desejasse visualizar o ambiente ao seu redor, o que também poderia interferir na fluidez e na naturalidade da interação.

### E.4.2 Resultados das Entrevistas

Além disso, foram feitas entrevistas com o treinador e jogadores sobre o uso da RV no treinamento, inicialmente entrevistou-se o treinador, abaixo encontram-se alguns pontos que foram discutidos:

- **Quais Benefícios e Oportunidades de Aplicações Você Vê na Ferramenta?**: *"Acredito que observar os posicionamentos e as movimentações pode ser útil para os jogadores, especialmente no que diz respeito ao entendimento de onde se posicionar corretamente. Para jogadores que não praticam com frequência, pode ser difícil entender essas questões de posicionamento, então um sistema que mostre essas dinâmicas pode ser bastante útil. Além disso, acredito que, além das trocas de passes, a movimentação dos jogadores em campo, como o posicionamento adequado de um lateral, por exemplo, pode ajudar bastante na compreensão do jogo.*

*Seria interessante, por exemplo, se o sistema conseguisse mostrar a sequência de ações, como "toquei a bola aqui e me movi para lá", o que ajudaria a entender melhor as decisões táticas e os movimentos no campo, não apenas o passe em si. Isso poderia contribuir para melhorar o entendimento da movimentação e do posicionamento estratégico durante o jogo."*;

- **Sobre o Conhecimento do Uso de Ferramentas Similares em Ambientes Profissionais**: *"Conheço, mas eu nunca usei. Já vi que essas ferramentas são aplicadas pra tentar ajustar movimentações de jogadores, mas não sei se é válido ou não."*;
- **Você acredita que 30 minutos na realidade virtual possa substituir 30 minutos de treino no campo?**: *"Não tenho uma opinião formada sobre a isso, pois acredito que isso depende muito do contexto e dos objetivos específicos de cada situação. Embora eu não saiba se isso traria grandes resultados a curto prazo, vejo potencial para ajudar, especialmente se for visto como um apoio adicional. No meu ponto de vista, a prática é fundamental, e acredito que o auxílio teórico pode ser eficaz, mas apenas se for complementado com a aplicação prática. Ou seja, entender a teoria pode ser útil como uma fase inicial, mas é a prática real que realmente faz a diferença para o aprendizado efetivo."*;
- **Como você faz a análise dos seus jogadores?**: *"Atualmente, não disponho de uma ferramenta para gravação e análise dos jogos, mas tento compensar isso oferecendo feedbacks durante as partidas. No contexto competitivo, busco orientar os jogadores a tocar a bola mais rapidamente e a tomar decisões mais assertivas, como sempre verificar se há alguém livre para receber o passe. Como treinamos apenas uma vez por semana, procuro incentivar os jogadores a escolherem as opções mais simples, em vez de tentarem soluções complexas. Meu trabalho de feedback é baseado principalmente em observações durante o treino e as partidas. Além disso, conversei com profissionais de outras áreas, como design e jornalismo, para buscar apoio na gravação das sessões, com o objetivo de gerar material que possa ser utilizado para melhorar o desempenho da equipe. No entanto, atualmente não possuo esse material, pois a estrutura de treinamento está em processo de renovação desde o ano passado, e ainda estamos aguardando a chegada de novos materiais, como bolas, que já solicitei. Também estou em busca de pessoas para me ajudar com essas demandas. Dado que sou o único responsável pelo treinamento, procuro organizar o trabalho de forma setorial, focando em grupos de jogadores. Isso se deve à limitação de tempo e recursos: não seria possível oferecer*

*feedback individualizado para todos os jogadores durante o treino sem comprometer a qualidade do trabalho. Portanto, tento trabalhar de forma mais abrangente, focando em aspectos específicos de cada setor. No entanto, quando percebo que um jogador está cometendo o mesmo erro repetidamente, dou um retorno individual, orientando-o a melhorar aquele aspecto específico do seu desempenho."*;

Além do treinador, entrevistou-se um dos atletas que se voluntariou à testar a ferramenta:

- **Você acha que a ferramenta beneficiaria mais jogadores experientes ou amadores?**: *"Na questão da experiência, a ferramenta pode ser útil para ensinar movimentos e posicionamentos, especialmente para jogadores iniciantes ou amadores. Nesse caso, ela serve como uma forma de aprendizado, ajudando a entender como se mover em campo. No entanto, para jogadores profissionais, a abordagem seria diferente. Em vez de ser uma ferramenta de aprendizado, ela funcionaria como um recurso corretivo, focando na melhoria do posicionamento e nas decisões táticas durante o jogo. Acredito que essa ferramenta pode ser extremamente valiosa para a visualização tática no campo, especialmente na criação de jogadas. Por exemplo, se um jogador precisa se mover para uma determinada área do campo para executar uma jogada, a ferramenta pode facilitar a compreensão de onde e como ele deve se posicionar. Isso oferece a vantagem de poder corrigir os jogadores de forma mais prática, sem a necessidade de estar fisicamente no campo o tempo todo. A correção pode ser feita de maneira mais automática e eficiente, embora, naturalmente, o treinamento no campo seja essencial para consolidar o aprendizado. No entanto, mesmo com essas correções feitas pela ferramenta, é importante transferir esse conhecimento para o campo, pois existem nuances que podem não ser totalmente capturadas no ambiente virtual. Em resumo, vejo a ferramenta como uma excelente opção para correções táticas e posicionais, especialmente para jogadores profissionais, mas, para iniciantes ou amadores, ela pode ser mais eficaz como uma ferramenta de aprendizado inicial."*;
- **Como você utilizaria essa ferramenta para o seu treinamento?**: *"Como jogador de meia, considero que a movimentação e a antecipação da jogada são fundamentais para o meu papel em campo, especialmente na marcação e no posicionamento durante as jogadas ofensivas e defensivas. O meia deve estar constantemente nas linhas intermediárias, tanto no ataque quanto na defesa, com uma ênfase maior no*

*ataque, pois o volante geralmente tem um papel mais defensivo. O meio-campista precisa aprender a correr, buscar a bola até certo ponto, virar, jogar e abrir o jogo conforme a situação exige. Vejo que a ferramenta pode ser muito útil para a correção de posicionamento, especialmente para o meia. Por exemplo, podemos treinar o jogador a se aproximar da bola na linha intermediária, voltar, girar e buscar passes. Inicialmente, essa orientação pode ser dada verbalmente, e o jogador deve tentar executar as ações em campo. Se percebermos que ele está se posicionando de maneira inadequada, podemos usar a ferramenta para corrigir sua postura, mostrando vídeos que ilustrem o posicionamento correto. Acredito que a ferramenta seria mais eficaz como um recurso de correção técnica. Para isso, seria importante focar em aspectos específicos, como o posicionamento do corpo do jogador com e sem a bola. Por exemplo, em uma situação defensiva, o zagueiro deve estar virado para o meio do campo, além de manter o foco na proteção da goleira, estando pronto para correr tanto para frente quanto para os lados, se necessário. Quando o zagueiro está com a bola, ele pode optar por passar para outro zagueiro ou para o meio, dependendo da situação. No entanto, se ele estiver com a bola e passar para o lateral, o meia, ao receber de costas, terá que se virar para realizar o passe. Essa movimentação de corpo e a tomada de decisão em situações específicas são pontos que poderiam ser analisados e corrigidos por meio de vídeos, permitindo uma melhor visualização das ações. No entanto, acredito que o uso da ferramenta seria mais relevante para a correção de posicionamento e movimentação de jogadores individuais, em situações específicas, em vez de ser uma ferramenta de treinamento coletivo.".*

Esse feedback foi utilizado para moldar os testes, apesar de algumas sugestões serem inconcebíveis de implementação em um tempo hábil, uma boa direção para a construção dos testes foi obtida.

### E.4.3 Pós-Execução dos Testes

Muito criticada, destacou-se uma dificuldade em visualizar textos de descrição dos testes, às vezes instanciando o lado errado e dificultando a leitura do usuário. Futuramente, implementou-se um sistema de legendas robusto visto na Figura 4.2, utilizado no geral para todos os testes.

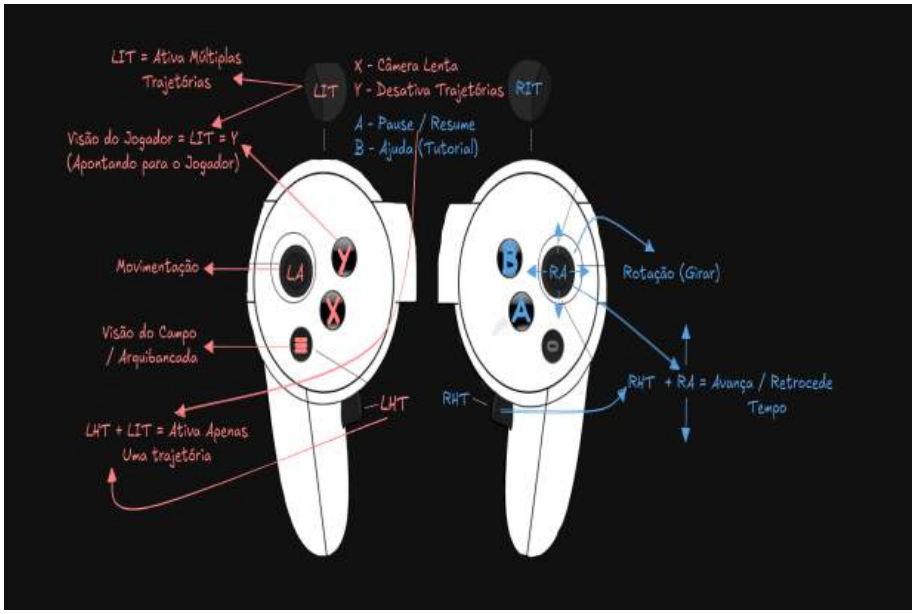



Figura E.1 – Imagem feita com o intuito de servir como tutorial, ela apresenta todos os comandos e as combinações possíveis.

Esses testes foram muito importantes para identificar erros contidos na Seção 3.3.8, uma vez que durante a análise, inconsistências começaram a aparecer, revelando diversos erros no registro das ações do usuário.

Foi alterado também para que, enquanto o usuário estiver imerso na ferramenta, não precise se comunicar verbalmente; todos os comandos serão feitos através dos controles, sem captura de comandos verbais ou gestos.

Sobre a análise dos resultados, o SUS teve um escore satisfatório, uma vez que a ferramenta estava crua e acabaram ocorrendo erros em alguns testes.

Além disso, para evitar futuras dúvidas sobre a interação com a ferramenta, foi adicionada a Figura E.1 para auxiliar o usuário durante o uso dos controles.

A imagem foi adicionada a cena como um monitor perpendicular ao campo, permitindo o usuário consultar os comandos quando julgasse necessário é possível ver a implementação na Figura E.2.

Ainda, pelo fato do registro das ações do usuário ainda não ter sido implementado naquela época, o feedback dos usuários foi coletado de forma verbal. Por conta disso, ocorreu que os usuários não sabiam como distinguir os jogadores e não conseguiram identificar com facilidade qual o time deles.

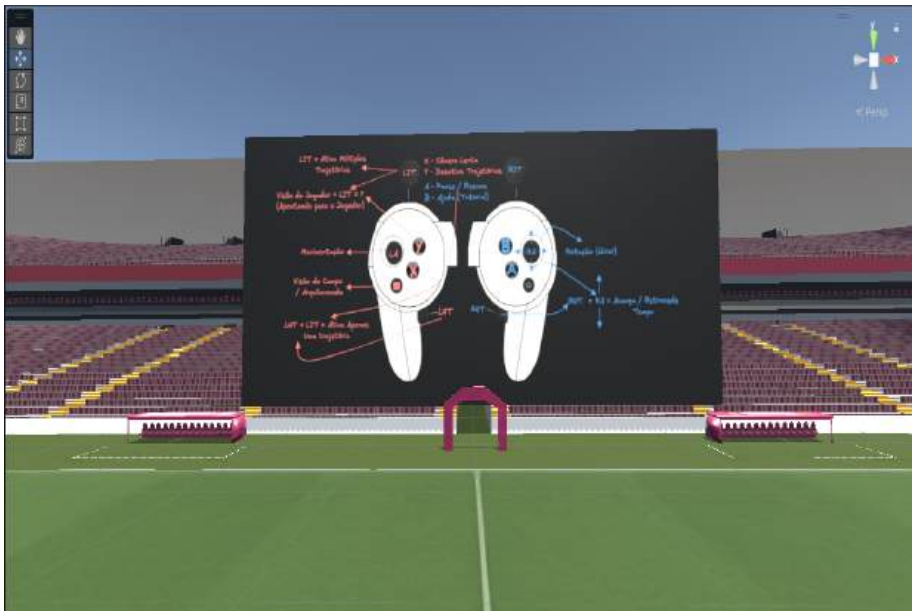


Figura E.2 – Imagem de tutorial aplicada na cena, para que o usuário pudesse olhar.




Figura E.3 – Atualização dos modelos dos jogadores, com base nas sugestões recebidas nos testes para facilitar a identificação.

# APÊNDICE F — SESSÃO DE VALIDAÇÃO III - SESSÃO DE VALIDAÇÃO FINAL

Após a implementação das sugestões e a correção dos erros identificados nos Capítulos D e E, realizou-se uma nova rodada de validação, desta vez com estudantes da área de computação. O objetivo foi corrigir pequenos erros que não haviam sido identificados nas seções anteriores e validar o fluxo completo com todos os testes unificados em uma única execução.

Para a coleta de dados, não foram utilizados formulários específicos; o feedback foi registrado de forma manual. O objetivo desta seção foi testar o protocolo de testes de maneira completa.

A principal hipótese deste experimento é que, ao corrigir os erros de usabilidade e implementar as sugestões fornecidas durante as seções de validação anteriores, a experiência do usuário será significativamente melhorada, resultando em maior desempenho e menor incidência de desconforto físico (motion sickness). A segunda hipótese é que a integração das mudanças, como a alteração nos tempos de contexto e a clareza na indicação dos controles, contribuirá para um aumento da precisão nas interações dos participantes com o sistema, especialmente durante as fases de tomada de decisão e movimentação.

## F.1 Materiais e Métodos

### F.1.1 Condições Experimentais e Aparelhagem

O experimento foi realizado em um ambiente controlado, utilizando dois óculos Quest III e controladores manuais. A interface do usuário foi projetada para interagir com o sistema por meio de gestos e comandos nos controladores. A plataforma utilizada para o desenvolvimento do experimento foi Unity 3D, com scripts customizados para ajustar a interação e os cenários.

Durante o experimento, os participantes foram submetidos a diferentes cenários que simulavam jogadas de futebol, com a interação baseada em passes e decisões rápidas, como discutido nas seções de validação anteriores. A velocidade de movimentação e rotação foi ajustada conforme os feedbacks dos testes preliminares, e os participantes interagiram com a cena a partir de uma perspectiva imersiva de jogador.

### F.1.2 Participantes

Os participantes foram 30 estudantes da área de computação, com idades variando entre 20 e 28 anos, todos com experiência prévia em jogos digitais e em ambientes de realidade virtual. Eles foram selecionados com base em sua familiaridade com tecnologias de VR, garantindo um nível básico de conforto com o uso do equipamento. Nenhum dos participantes possuía histórico de problemas significativos relacionados a motion sickness, e todos assinaram um termo de consentimento informado antes da realização do experimento.

### F.1.3 Procedimentos

O experimento consistiu na realização dos dois cenários testados anteriormente, além do cenário livre, que será explicado abaixo. Dessa forma, os participantes deveriam interagir com o ambiente e tomar decisões sobre passes, movimentação e, finalmente, usar a ferramenta de forma livre. Antes de cada teste, os participantes receberam instruções detalhadas sobre o uso dos controles necessários para tal tarefa, a fim de evitar confusão durante a execução dos testes, que, no momento de sua conclusão, teriam feito o usuário utilizar todas as ferramentas.

Durante os testes D e E, a maioria das funcionalidades implementadas não foi diretamente explorada, por isso foi criado esse cenário. Este consiste no usuário utilizar a ferramenta da forma que for livre, fazendo-o inicialmente passar por uma fase de introdução a todas as implementações disponíveis, para depois utilizar a ferramenta por dois minutos de forma independente.

Abaixo estão descritas as mensagens de tutorial.

1. *Utilize o LIT para para ativar a trajetória de vários jogadores*
2. *Utilize o LIT + LHT para ativar a trajetória de apenas um jogador*
3. *Utilize o LIT + Y para visualizar o ponto de vista de um jogador*
4. *Alterne entre os pontos de vistas dos jogadores utilizando o LIT Utilize o Botão Start Para Sair da Visão do Jogador e Alternar entre a Arquibancada e o Campo*
5. *Utilize o Y para apagar as trajetórias*
6. *Utilize o Botão X para Ativar/Desativar a câmera lenta*
7. *Utilize o RHT + RA para Avançar ou Retroceder o tempo No meio da sua tela e*

*possível ver a barra de progresso do replay*

8. *Utilize o Botão A para Pausar / Resumir a cena*

Durante o experimento, foram coletados dados qualitativos (feedback sobre conforto e usabilidade). As sessões de teste foram realizadas com os participantes em pé.

## F.2 Resultados

Foram coletados os seguintes comentários sobre a usabilidade do sistema:

### F.2.1 Feedback sobre Usabilidade

Foram coletados os seguintes comentários sobre a usabilidade do sistema:

- *Botão para voltar às mensagens*: Alguns usuários relataram que perderam mensagens importantes acidentalmente, sugerindo a implementação de um botão para voltar a essas mensagens;
- *Diminuir a velocidade de rotação e movimento*: Usuários mencionaram que movimentos rápidos causavam desconforto (motion sickness). A velocidade foi, portanto, reduzida substancialmente;
- *Travar rotação da cabeça*: Relacionado ao motion sickness, o movimento da cabeça foi ajustado para a versão final, conforme discutido em 3.3.7;
- *Testes sentados*: A fim de evitar acidentes decorrentes de movimentação excessiva, foi sugerido que os testes fossem realizados com o usuário sentado. Essa recomendação não foi implementada e será discutida mais detalhadamente em ***Discussão***;
- *Botão AJUDA alternar entre nomes dos botões e funções*: A Figura ilustrativa (E.1), que estava fisicamente posicionada de forma estática na cena, apresentava perda de qualidade ao ser visualizada a partir de distâncias maiores, tornando-se ilegível, como mostrado em E.2. Em resposta, implementou-se um sistema de ajuda diretamente nos controles, como ilustrado em F.1 e F.2;
- *Desabilitar botões desnecessários*: Inicialmente não percebido, o não bloqueio de botões desnecessários para testes específicos resultou na invalidação de alguns testes. Um exemplo é que alguns usuários teletransportaram-se para a arquibancada durante os testes de movimentação;

- *Adicionar marcador para seleção de jogador*: Foi observada uma falta de clareza sobre qual jogador estava selecionado, o que levou à implementação de um marcador visual para indicar a seleção;
- *Locomoção pela arquibancada*: Foi sugerida a adição de uma funcionalidade que permitisse ao usuário se mover pela arquibancada, oferecendo uma visão do jogo do ângulo posterior ao gol;
- *Funções de Pause e Resume com escala de tempo suave*: O uso abrupto das funções de pausa e retoma estava causando desorientação. Assim, foi introduzida uma função que permite aumentar ou diminuir a velocidade de forma gradual.

### F.2.2 Feedback sobre Textos

Foram feitas sugestões para melhorar a clareza dos textos, como substituições de termos para torná-los mais diretos, por exemplo, de "Pressione"para "Aponte o analógico esquerdo"e de "Menu de Controles"para "Instruções de Uso". Também foi observada dificuldade por parte dos usuários em identificar os nomes dos botões que estavam em uma língua estrangeira. Além disso, algumas informações que pareciam óbvias precisaram ser mais explicitadas. Com isso, vários textos foram reescritos para evitar dúvidas durante o experimento principal.

### F.2.3 Feedback sobre o Cenário de tomada de decisão

Alguns usuários avançaram nas mensagens sem selecionar um jogador. Diferentemente da validação anterior, onde a resposta era fornecida oralmente, nesta etapa a interação passou a ser realizada via controles. Como resultado, a opção de "drible"e "finalização"foi removida, deixando apenas a opção de "passe". A mensagem foi alterada para: "Mudar texto para indicar as opções de PASSE disponíveis".

Adicionalmente, não estava claro para os usuários que o comando para apontar envolvia apertar o gatilho do dedo indicador, o que foi explicitado no texto. Outra dificuldade percebida foi a falta de indicação clara sobre qual jogador estava selecionado, o que levou à implementação de um marcador visual para esse propósito. Além disso, antes do jogador receber o passe, eram oferecidos apenas 3 segundos de contexto da jogada, o que prejudicava a interpretação da cena. O tempo foi, então, aumentado para 10 segundos.

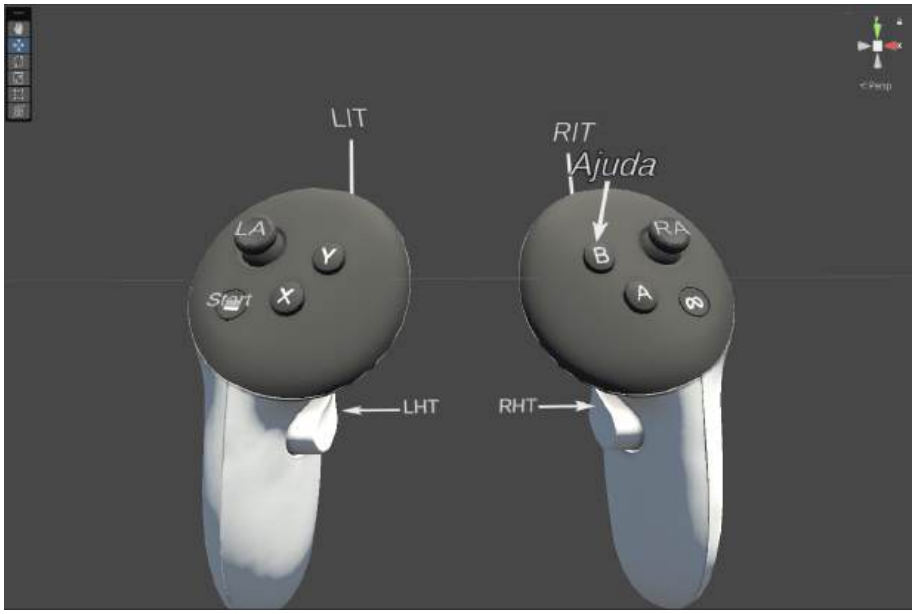


Figura F.1 – Mapeamento dos botões nos controles.

## F.3 Discussão

### F.3.1 Ajuda ao Usuário

Foi muito destacado durante o cenário de testes que a Figura E.2 perde foco e qualidade ao ser visualizada a distâncias maiores, o que levou ao abandono dessa abordagem. Em seguida, a imagem foi posicionada diretamente no controle do usuário, mas ao fazer essa alteração, surgiu a ideia de mapear os elementos gráficos diretamente.

Além disso, também foi percebido que, apesar da imagem, os usuários ainda estavam com dificuldade de identificar corretamente os botões necessários para os testes. Portanto, mudou-se a abordagem para mapear diretamente a ajuda aos controles. Houve a necessidade de se criar dois tipos de legenda, uma responsável por identificar os botões dos controles e a outra mostrando quais botões são utilizados para ativar funcionalidades da ferramenta. Por conta disso, utilizou-se o botão de ajuda para alternar entre as legendas, como é possível ver nas Figuras F.1 e F.2.

A abordagem foi bem recebida, embora tenha gerado algum desconforto inicial, pois são muitas ferramentas e alguns botões são utilizados para mais de uma função. De qualquer forma, essa abordagem foi muito melhor recebida que a abordagem do telão, minimizando o problema.

Para o Experimento Principal, descrito em 5, na ordem de execução das tarefas, evitou-se ensinar ao usuário as ferramentas que não seriam necessárias para os demais

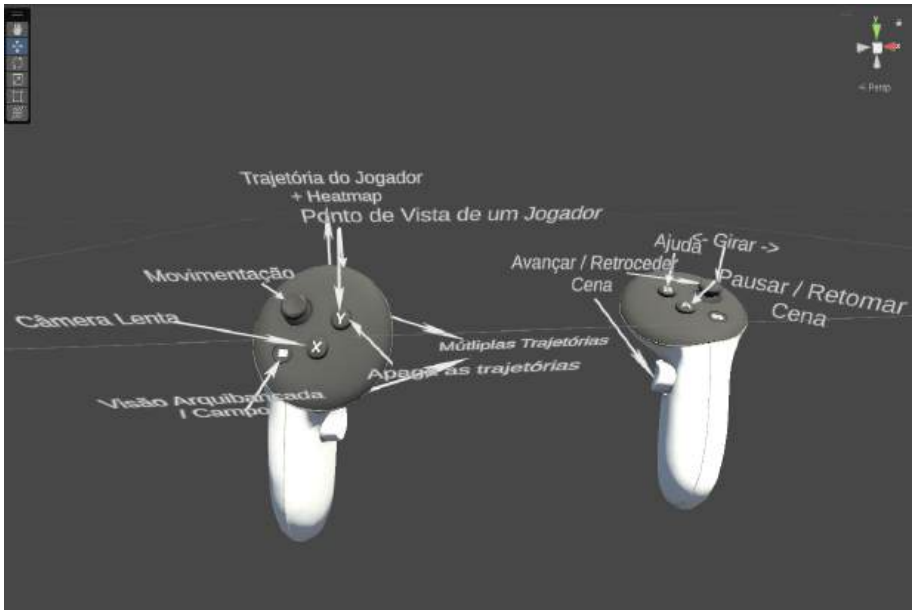



Figura F.2 – Funcionalidades do sistema sendo apresentadas nos controles.

testes. Percebeu-se que nos cenários 1 e 2 muitos usuários acabaram por se confundir ao saber de comandos que não eram utilizados, acabando, algumas vezes, por quebrar os testes ou simplesmente não entender que estava sendo cobrado aquilo que eles sabiam. Por causa disso, optou-se por ensinar apenas o que era realmente necessário para os testes; a ordem das tarefas ficou descrita na Seção 4.6.

# APÊNDICE G — IMAGENS DAS APLICAÇÕES DOS TESTES




SIAPERGS


SIAPERGS









