

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Gabriel Di Domenico

**DESENVOLVIMENTO DE MINI-MAPA INTERATIVO E INTERFACES
NATURAIS DE USUÁRIO PARA NAVEGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE
REALIDADE VIRTUAL COM TERRENOS DE GRANDE ESCALA**

Santa Maria, RS
2023

Gabriel Di Domenico

**DESENVOLVIMENTO DE MINI-MAPA INTERATIVO E INTERFACES NATURAIS DE
USUÁRIO PARA NAVEGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL COM
TERRENOS DE GRANDE ESCALA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação,
Área de Concentração em , da Universidade Fe-
deral de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ci-
ência da Computação**.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Tadeu Pozzer

Santa Maria, RS
2023

Gabriel Di Domenico

**DESENVOLVIMENTO DE MINI-MAPA INTERATIVO E INTERFACES NATURAIS DE
USUÁRIO PARA NAVEGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL COM
TERRENOS DE GRANDE ESCALA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação, Área de Concentração em , da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciência da Computação**.

Aprovado em 11 de dezembro de 2023:

**Cesar Tadeu Pozzer, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Giovani Rubert Librelotto, Dr. (UFSM)

Lisandra Manzoni Fontoura, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE MINI-MAPA INTERATIVO E INTERFACES NATURAIS DE USUÁRIO PARA NAVEGAÇÃO EM APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL COM TERRENOS DE GRANDE ESCALA

AUTOR: Gabriel Di Domenico
Orientador: Cesar Tadeu Pozzer

O uso de realidade virtual consegue proporcionar para o usuário experiências que não seriam possíveis em aplicações tridimensionais convencionais. A capacidade de interagir, movimentar-se e observar enquanto inserido dentro da aplicação introduz novos paradigmas na interação humano-computador. Este trabalho tem como objetivo incorporar recursos de realidade virtual em ambientes virtuais de grande escala. Isso inclui a adição de tecnologias como rastreamento de movimento e interfaces interativas, proporcionando uma experiência imersiva em que os usuários podem explorar e interagir com ambientes digitais 3D. Para habilitar a navegação do usuário por terrenos extensos, foi implementando um mini-mapa que auxilia a visualização de todo cenário 3D, além de possibilitar o teletransporte para qualquer local selecionado. Para melhorar a interação do usuário com o sistema, várias formas de menus radiais foram propostas e testadas, visando possibilitar interações naturais e introduzir novas maneiras de interagir com a aplicação. Os componentes produzidos durante a pesquisa foram incorporados dentro do simulador SIS-ASTROS, permitindo a visualização das atividades presentes na simulação, na perspectiva de primeira pessoa. A técnica de utilização de um mini-mapa para teletransporte mostrou-se vantajosa na navegação por terrenos extensos, economizando tempo em comparação com as locomoções convencionais até pontos de interesse dispersos no mapa. Além disso, o menu radial, que permite a seleção de diferentes funcionalidades através da rotação do pulso, enriqueceu a experiência da realidade virtual, proporcionando novas formas de interação humano-computador.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Simulação. Interface natural de usuário.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE MINI-MAP AND NATURAL USER INTERFACES FOR NAVIGATION IN VIRTUAL REALITY APPLICATIONS WITH LARGE-SCALE TERRAINS

AUTHOR: Gabriel Di Domenico

ADVISOR: Cesar Tadeu Pozzer

The use of virtual reality can provide users with experiences that would not be possible in conventional three-dimensional applications. The ability to interact, move, and observe while immersed in the application introduces new paradigms in human-computer interaction. This work aims to incorporate virtual reality features into large-scale virtual environments. This includes the addition of technologies such as motion tracking and interactive interfaces, providing an immersive experience where users can explore and interact with 3D digital environments. To enable user navigation across extensive terrains, a mini-map has been implemented to assist in visualizing the entire 3D scene, as well as allowing teleportation to any selected location. To enhance user interaction with the system, various forms of radial menus have been proposed and tested, aiming to enable natural interactions and introduce new ways of interacting with the application. The components produced during the research were incorporated into the SIS-ASTROS simulator, allowing the visualization of activities present in the simulation from a first-person perspective. The technique of using a mini-map for teleportation proved advantageous in navigating extensive terrains, saving time compared to conventional movements to scattered points of interest on the map. Furthermore, the radial menu, which allows the selection of different functionalities by rotating the wrist, enriched the virtual reality experience, providing new ways of human-computer interaction.

Keywords: Virtual Reality. Simulation. User Natural Interface.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usuário utilizando computador	13
Figura 2 – Jogo Pokemon GO	13
Figura 3 – Representação do CAVE.	14
Figura 4 – Ajuda em RV para um planejamento de uma cirurgia	15
Figura 5 – Representação da mão do usuário no mundo virtual.	16
Figura 6 – Escala de objeto na interação	17
Figura 7 – A esquerda tecnica Go-Go e a direita HOMER.	17
Figura 8 – Exemplo do uso de PORTAL	18
Figura 9 – Técnica WiM	19
Figura 10 – Exemplificação do Redirected-Walking	20
Figura 11 – Teletransporte por observação e direção	21
Figura 12 – Menu radial baseado em profundidade	21
Figura 13 – Spin menu	22
Figura 14 – Bangles do Look & Turn Menu	22
Figura 15 – Exemplo de utilização do simulador	23
Figura 16 – Exemplo de uso do mini-mapa	24
Figura 17 – Interface de Construct3D	25
Figura 18 – Visualização do ambiente MINING-VIRUTAL	26
Figura 19 – Diagrama de Componentes	33
Figura 20 – Diagrama de classes	35
Figura 21 – Aparato utilizado	37
Figura 22 – Estação de prototipação	39
Figura 23 – Exemplo de interação	40
Figura 24 – Movimentação Teletransporte	41
Figura 25 – Menu radial proposto	42
Figura 26 – Mini-mapa	43
Figura 27 – Seleção de teletransporte	43
Figura 28 – Tarefa de teste	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Requisitos funcionais para a estação RV	28
TABELA 2 – Requisitos não funcionais levantados para estação RV.	29
TABELA 3 – História de usuário movimentação livre	30
TABELA 4 – História de usuário movimentação teletransporte	30
TABELA 5 – História de usuário movimentação pelo mini-mapa	30
TABELA 6 – História de usuário visualizar menu radial	31
TABELA 7 – História de usuário selecionar item no menu radial	31
TABELA 8 – História de usuário ingressar viatura	31
TABELA 9 – História de usuário selecionar painel	32
TABELA 10 – Resultado obtido durante o teste realizado	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivos principal	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	REALIDADE VIRTUAL	12
2.1.1	Não-Imersiva	12
2.1.2	Semi-Imersiva	13
2.1.3	Total-Imersiva	13
2.2	SIMULADORES	14
2.3	INTERAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL	15
2.3.1	Interação Direta	16
2.3.1.1	Mão virtual	16
2.3.1.2	Manipulação em escala	17
2.3.1.3	Go-Go e HOMER	17
2.3.2	Interação Indireta	18
2.3.2.1	Portais	18
2.3.2.2	Minituras	18
2.4	LOCOMOÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL	18
2.5	INTERFACES NATURAIS DE USUÁRIO	20
3	TRABALHOS RELACIONADOS	23
4	MODELAGEM DA APLICAÇÃO	27
4.1	O PROBLEMA	27
4.2	REQUISITOS DO SISTEMA	28
4.2.1	Requisitos funcionais do sistema	28
4.2.2	Requisitos não funcionais do sistema	29
4.3	FUNCIONALIDADES	29
4.4	ARQUITETURA	32
4.4.1	Componentes	34
4.4.2	Classes	35
4.5	APARATO	36
4.6	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	36
5	DESENVOLVIMENTO	38
5.1	FUNCIONALIDADES DESENVOLVIDAS	38
5.1.1	Estação de prototipação	38

5.1.2	Personagem do usuário	38
5.1.3	Interação com o ambiente	39
5.1.4	Movimentação	40
5.1.5	Menu radial	40
5.1.6	Mini-mapa	42
5.2	VALIDAÇÃO	44
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO	52

1 INTRODUÇÃO

A realidade virtual (RV) representa uma área em constante evolução desde sua concepção. Seu principal objetivo é aproximar a interação entre humanos e computadores do ambiente natural, proporcionando uma experiência imersiva e envolvente. Nesse contexto, a RV faz uso do movimento das mãos para a interação com objetos virtuais e permite a observação do ambiente 3D da aplicação através da rotação da cabeça do usuário.

Essa forma de interação é viabilizada pelo uso do Head-Mounted Display (HMD), que capta os movimentos da cabeça do usuário e os reflete na aplicação, criando uma sensação de presença e imersão no ambiente virtual. Além disso, controles específicos para ambas as mãos são empregados para rastrear com precisão a posição e a rotação das mãos do usuário, tornando possível interagir de maneira intuitiva com objetos virtuais.

No entanto, é importante notar que apenas o aparato tecnológico não é capaz, por si só, de garantir uma experiência imersiva completa para o usuário em um ambiente de RV. A imersão efetiva também depende de elementos como design de interface, interações naturais e a capacidade de criar uma conexão fluida entre o usuário e o ambiente virtual. Elementos de interfaces, comumente usados em aplicações, chamados de "point-and-click", consistem no uso do mouse para selecionar itens em menus dispostos para o usuário e, muitas vezes, não são adequados para ambientes em RV, onde é necessário que a interação seja mais intuitiva e semelhante à forma como interagimos no mundo real.

Interfaces de usuário que utilizam de movimentos livres do usuário conseguem ajudar na capacidade de imersão de um ambiente em RV. Menus que permitem interação por voz, observação do usuário ou até mesmo a rotação do pulso contribuem para uma experiência mais intuitiva para o usuário, facilitando o uso e tornando a interação mais agradável (LIU, 2010).

Simulação virtual é um campo da computação que está cada vez mais presente na sociedade, abrangendo vários campos como medicina, arquitetura, engenharia entre outros. O principal atrativo para a simulação é a possibilidade de apresentar um cenário para o usuário que seria custoso ou de risco se não estivesse contido em um ambiente virtual.

Simuladores na área militar são de extrema importância, pois ajudam a superar a incerteza do uso do equipamento militar sem a necessidade de preparar todo o equipamento em um ambiente de treino real, desta forma, reduzindo drasticamente o custo, o tempo e o risco de acidentes além de possibilitar o ensaio de missões para diferentes finalidades (EDMOND; WIET; Bill Bolger, 1998).

O uso de realidade virtual em simuladores enriquece o treinamento do usuário, proporcionando mais possibilidades de interações que o usuário pode realizar como visualização de avarias em viaturas, reconhecimento do terreno em diferentes condições climáticas,

procedimentos médicos, modelagem de automóveis entre outras aplicações (LELE, 2013). Simuladores de operações militares conseguem aproveitar a imersão da RV para realizar treinamentos práticos como o uso de viaturas, manutenção de armas, ensaio de tiro, entre outros.

Neste trabalho, é utilizado o simulador SIS-ASTROS (Sistema de Simulação Integrado para a Bateria ASTROS) para implementar a estação RV (Realidade Virtual). Implementado utilizando o motor gráfico Unity, o SIS-ASTROS é um sistema de simulação criado para o treinamento de militares em doutrinas táticas relacionadas ao uso da bateria ASTROS. A arquitetura em que o simulador se baseia para suas operações é dividida em três estações, sendo uma servidor e as restantes clientes, a estação servidor é a que inicia a rede para sincronização com as demais estações e também é responsável pelos objetos 3D da aplicação, as demais estações clientes servem para diferentes propósitos e apenas se comunicam via rede com o servidor para atualizar as posições globais dos elementos.

Para contribuir com o simulador, a implementação de uma nova estação, com elementos de realidade virtual, permite que novas atividades possam ser realizadas dentro da simulação. Em uma estação de RV a interação com os elementos 3D da aplicação se torna natural, podendo fisicamente observar, interagir e delegar com o uso de movimentos da cabeça e das mãos, dessa forma, possibilitando atividades que aproveitam a liberdade dos movimentos. Um mini-mapa foi criado para auxiliar na locomoção com o intuito de facilitar a utilização de RV no ambiente extenso do simulador, possibilitando que o usuário alcance qualquer ponto do terreno.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos principal

Este trabalho tem como objetivo a implementação de uma estação em realidade virtual que possibilite a interação, movimentação e visualização de elementos presentes em aplicações com ambientes de grande extensão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudo e implementação da locomoção, interação e visualização em realidade virtual.
- Implementação de menus com interfaces naturais que utilizam de movimentos livres

do usuário para interação com a aplicação.

- Implementação da visualização do terreno da aplicação através de um mini-mapa capaz de atualizar a posição do jogador ao selecionar pontos dentro dele.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta seção tem como propósito oferecer uma visão abrangente da estrutura do presente trabalho, fornecendo um delineamento do conteúdo de cada capítulo. A organização do texto tem como meta proporcionar uma compreensão clara do desenvolvimento da pesquisa, desde a introdução até as conclusões finais.

No capítulo 2 é apresentada uma análise aprofundada dos conceitos fundamentais necessários para a construção da estação de realidade virtual. Explora temas como realidade virtual, simuladores, formas de interação e locomoção em realidade virtual, além de abordar interfaces naturais de usuário. O capítulo 3 oferece uma revisão detalhada dos trabalhos relacionados à pesquisa, destacando os resultados obtidos em cada pesquisa e apresentando a metodologia utilizada em cada uma delas. Em seguida no capítulo 4 é definido os principais objetivos da aplicação e apresenta a arquitetura geral, modelagem e casos de uso. Este capítulo proporciona uma compreensão abrangente da implementação projetada. O capítulo 5 detalha a implementação prática da estação RV, apresentando cada módulo desenvolvido. Inclui também a estação de prototipação criada para testes de cada protótipo concebido para a estação. Por fim no capítulo 6 são destacadas as metas alcançadas com a implementação dos protótipos da estação e sua integração com a realidade virtual. Além disso, são levantadas possíveis direções para trabalhos futuros, visando uma continuidade do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para desenvolver a estação RV, é essencial entender os princípios fundamentais do campo. Neste capítulo, é explorado conceitos-chave, como realidade virtual, simuladores, diferentes formas de interação e movimentação em ambientes virtuais, e interfaces naturais de usuário.

A análise desses fundamentos busca estabelecer a base conceitual necessária para construir a estação de RV e seus elementos. Ao levantar as tendências de pesquisa, a etapa de desenvolvimento consegue seguir um caminho coeso com a realidade da área, assegurando não apenas a funcionalidade, mas também a eficácia da aplicação.

2.1 REALIDADE VIRTUAL

De acordo com (HALARNKAR et al., 2012), a realidade virtual é definida como um ambiente computacional que tem a capacidade de imergir uma pessoa, por meio de simulações, em um mundo fictício (a aplicação). Dentro deste contexto, qualquer aplicação que inclua a representação de um avatar correspondente ao usuário pode ser categorizada como um software de realidade virtual.

Então podemos dividir diferentes níveis de realidades virtuais em relação a quão imersa a experiência do usuário é com a aplicação.

2.1.1 Não-Imersiva

Uma aplicação que consegue representar ambientes 3D com proporções realistas, traduzindo assim o ambiente real para o ambiente virtual, se enquadra em uma realidade virtual Não-Imersiva. Este nível pode ser alcançado com qualquer tipo de computador e periféricos convencionais (Figura 1), tendo o foco na ilusão do usuário estar imerso em um ambiente em que é capaz de interagir com personagens e objetos (HALARNKAR et al., 2012).

Second Life é um software, criado por Linden Labs em 2003, que consegue exemplificar perfeitamente este nível de realidade virtual, consistindo em um programa em que usuários criam avatares, tornando a sua representação em um mundo totalmente virtual capazes de interagir com o ambiente e outros avatares.

Figura 1 – Exemplo de realidade não-imersiva, usuário interagindo com o software com o auxílio de periféricos.



Fonte: Página de fotos DCStudios no site pixabay

2.1.2 Semi-Imersiva

Para este nível, aplicações são capazes de alterar percepções de objetos, dentro do mundo real, com o uso de aparelhos intermediários, como celulares, óculos especiais, entre outros (Figura 2). A definição comumente utilizada para este nível é Realidade Aumentada (RA), que significa usar da tecnologia para alterar o ambiente em que o usuário está inserido, podendo contribuir não apenas com imagens, mas sim com sons, cheiros e toque (CARMIGNIANI et al., 2011).

Figura 2 – Jogo Pokemon GO, que utiliza de realidade aumentada para representar personagens no mundo real, que podem ser interagidos com o usuário pelo celular.



Fonte: (PADILLA, Mariel, 2020)

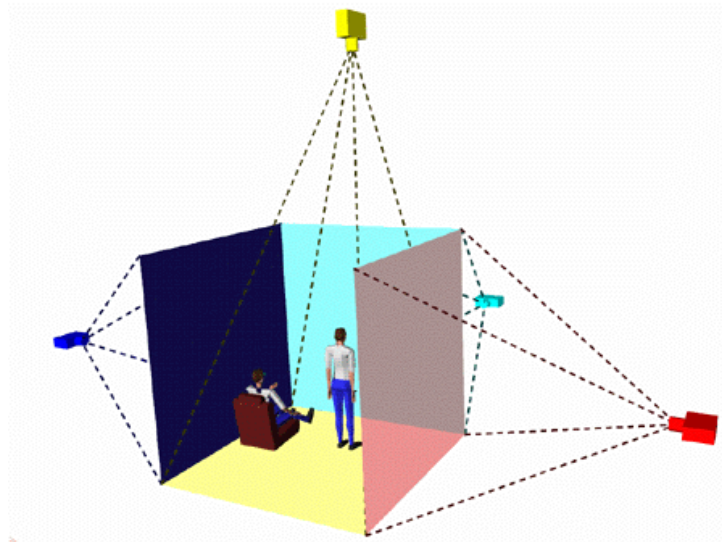
2.1.3 Total-Imersiva

Neste nível de realidade virtual, é possível atingir uma imersão completa no ambiente 3D modelado, graças ao uso de equipamentos específicos que viabilizam essa expe-

riência. O *Head-Mounted Display* (HMD), por exemplo, é um dispositivo composto por um *headset* equipado com sensores de rastreamento espacial e um *display* integrado, capaz de projetar uma imagem separada para cada olho do usuário. Isso garante que o usuário visualize somente o ambiente 3D inserido no contexto da aplicação. Além disso, para permitir a interação com objetos virtuais presentes no ambiente, são necessários aparatos, que podem ser tanto luvas quanto controles, equipados com sensores que rastreiam os movimentos das mãos do usuário.

Outra forma de interação é o CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), que envolve o uso de uma sala equipada com projetores capazes de exibir um ambiente virtual nas paredes e no chão, conforme exemplificado na Figura 3. Embora essa abordagem proporcione uma experiência imersiva, ela é relativamente menos comum devido ao seu custo e caráter não convencional. Sua principal vantagem reside na capacidade de permitir a interação fácil de múltiplos usuários no mesmo ambiente virtual (BOYLES, 2017).

Figura 3 – Representação do CAVE.



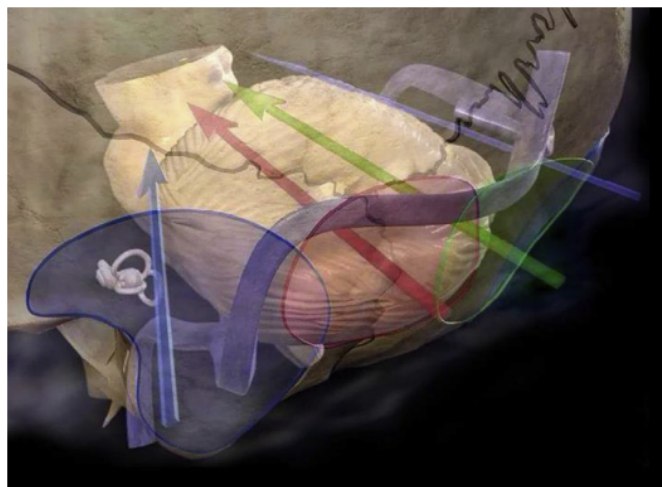
Fonte: Adaptado de Anh Nguyen 2014.

2.2 SIMULADORES

Os softwares simuladores têm como objetivo treinar os usuários para tarefas específicas. As possibilidades de simulação são vastas, tornando esses programas úteis em diversas áreas do conhecimento. RV em simulações proporciona criação de atividades que não podem ser retratadas somente em uma interação 2D com a máquina, tornando possível tarefas que requerem ações naturais do usuário para sua conclusão, como o movimento dos braços ou o movimento da cabeça.

Na medicina, os simuladores são capazes de treinar médicos para situações de alto risco, eliminando a necessidade de utilização de cobaias em treinamentos. A capacidade de configurar situações improváveis e raras contribui para a construção de confiança entre os médicos que fazem uso desses simuladores (AGHA; FOWLER, 2015). O uso de RV para simulação de cirurgias (Figura 4) traz benefícios cruciais para procedimentos delicados. A capacidade de manipular objetos em 3D ajuda a treinar a noção espacial, ajudando médicos que não possuem experiência prática com procedimentos clínicos de diferentes partes do corpo humano (BERNARDO, 2017).

Figura 4 – Ajuda em RV para um planejamento de uma cirurgia para acessos posterior e pósterio lateral ao tronco cerebral.



Fonte: Adaptado de Antonio Bernardo (2017).

A utilização de simuladores na área militar tornou-se fundamental no contexto contemporâneo. Testar munições e realizar exercícios de treinamento pode ser dispendioso, sem mencionar os riscos associados. Conforme apontado por (FLETCHER, 2009), a simulação reduz os custos, aumenta a segurança, oferece maior visibilidade dos eventos e melhora a reprodutibilidade das ações. Os avanços nesse campo possibilitaram o treinamento de operações militares complexas, que podem ser replicadas de diversas maneiras e abranger uma ampla gama de cenários possíveis.

2.3 INTERAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

Dentro da realidade virtual a interação com objetos pode ser realizada de maneiras diferentes conforme o escopo da aplicação. Para validar uma interação bem sucedida em um espaço 3D deve-se garantir que o usuário através de qualquer forma consiga selecionar, rotacionar e posicionar objetos (BOWMAN et al., 2001). No entanto, a interação em um ambiente 3D é considerada desafiadora, uma vez que objetos em uma cena podem estar

distantes do usuário ou até mesmo em locais onde a interação apenas com o movimento da mão em direção ao objeto é impossível.

Visando esta problemática no decorrer dos anos diversas técnicas de interação foram propostas, dentro dessas técnicas podemos categorizá-las em formas de interação direta e indireta. As técnicas de interação direta buscam possibilitar que movimentos naturais do usuário consigam interagir com o ambiente em que está inserido, já interação indireta é utilização de objetos intermediários para possibilitar a interação com objetos que estão distantes do usuário.

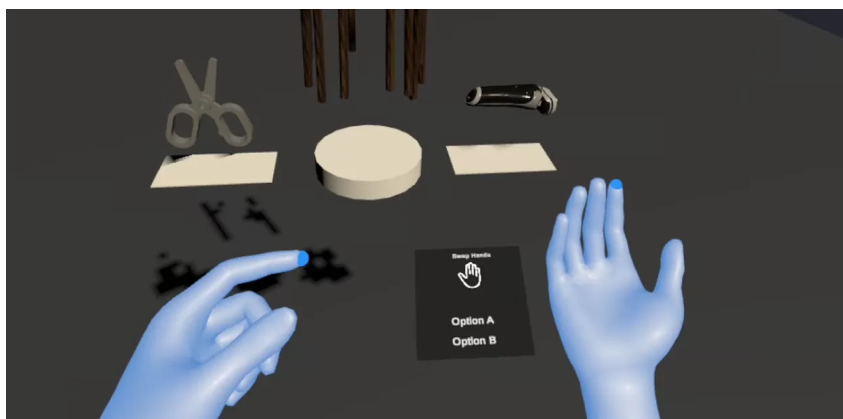
Na próxima subsecção são listadas técnicas de interação já propostas que buscam solucionar adversidades que podem ser encontradas quando o usuário está inserido em uma realidade virtual.

2.3.1 Interação Direta

2.3.1.1 Mão virtual

Nessa abordagem, é utilizado a posição dos controles para representar a mão do usuário no ambiente virtual (Figura 5). Essa representação pode ser uma mão ou qualquer objeto que consiga interagir com o ambiente, permitindo a manipulação de objetos que estão ao seu alcance (BOWMAN et al., 2001). Embora essa representação seja simples, ela apresenta limitações significativas em relação à capacidade do usuário interagir com o ambiente virtual. Isso ocorre porque o usuário deve se deslocar fisicamente para se aproximar de um objeto e interagir com ele, o que pode restringir a experiência do usuário com a aplicação, especialmente quando a locomoção física não é uma opção.

Figura 5 – Representação da mão do usuário no mundo virtual.

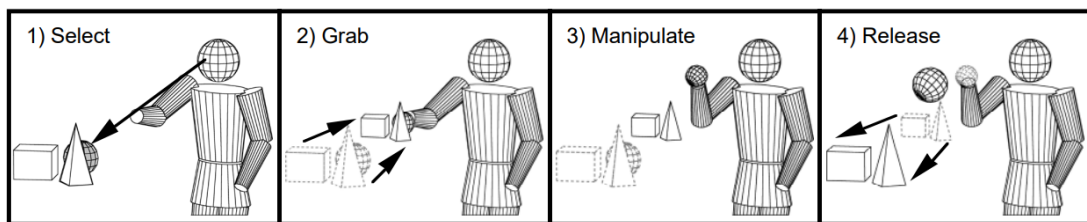


Fonte: (Labs.Monks, 2023)

2.3.1.2 Manipulação em escala

Esta forma de interação proposta por (MINE; BROOKS; SEQUIN, 1997) tenta simplificar a representação de objetos presentes no ambiente 3D quando segurado por um usuário, tornando possível interação com objetos que não estão presentes por completo na visão do usuário mas estão perto o suficiente para serem interagidos. Quando o usuário segura o objeto é realizada uma escala sob ele, diminuindo seu tamanho como observado na Figura 6.

Figura 6 – Escala automática de um objeto presente no espaço 3D quando selecionado.

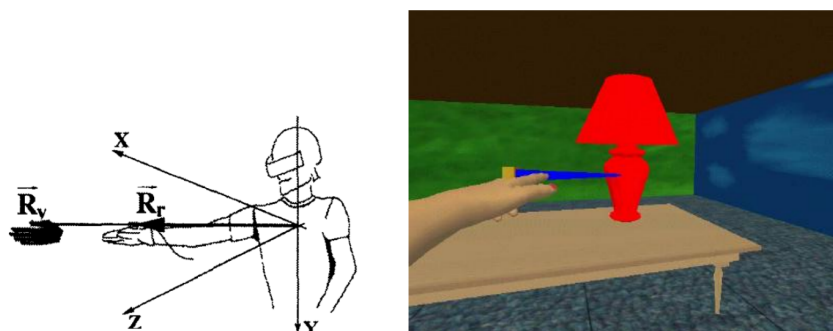


Fonte: Adaptado de Mine, Brooks e Sequin. 1997.

2.3.1.3 Go-Go e HOMER

A técnica conhecida como Go-Go (POUPYREV et al., 1996), emprega um mapeamento não linear, ilustrado à esquerda na Figura 7, para calcular uma nova posição da mão virtual do usuário. Isso possibilita interações com objetos distantes do usuário. Por outro lado, o método denominado HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting) (BOWMAN; HODGES, 1997) segue uma lógica semelhante de estender o alcance do usuário, porém, utiliza a técnica de ray casting para selecionar objetos, sem mover a posição da mão virtual do usuário, como exemplificado na interação à direita na Figura 7.

Figura 7 – A esquerda tecnica Go-Go e a direita HOMER.



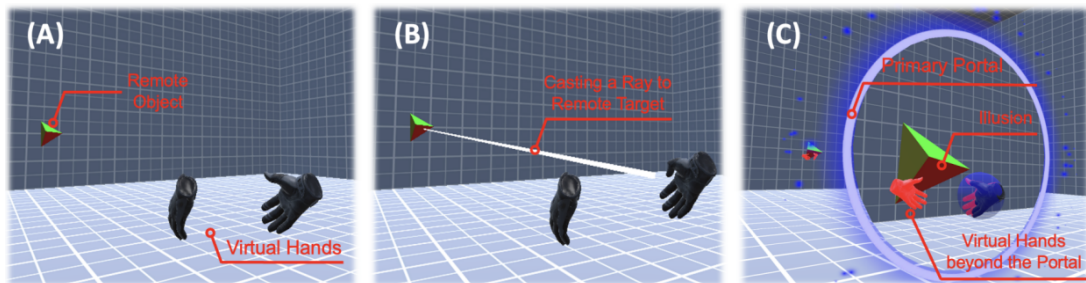
Fonte: Adaptado de Poupyrev et al. (1996), Bowman e Hodges (1997).

2.3.2 Interação Indireta

2.3.2.1 Portais

PORTAL (Portal widget for Remote Target Acquisition and control), proposto por (HAN; KIM; CHO, 2022), utiliza a criação de portais para interagir com objetos que estão fora do alcance do usuário. Sua principal limitação é a necessidade do objeto desejado ter sua visualização possível, uma vez que é necessário a abertura de um portal perto dele (Figura 8) para possibilitar a interação.

Figura 8 – Exemplo do uso de PORTAL, a) Cenário onde o objeto está distante do usuário; b) É realizado o raycast para o objeto q ser manipulado; c) Criação do PORTAL para interação com o objeto.



Fonte: Adaptado de Han, Kim e Cho (2022).

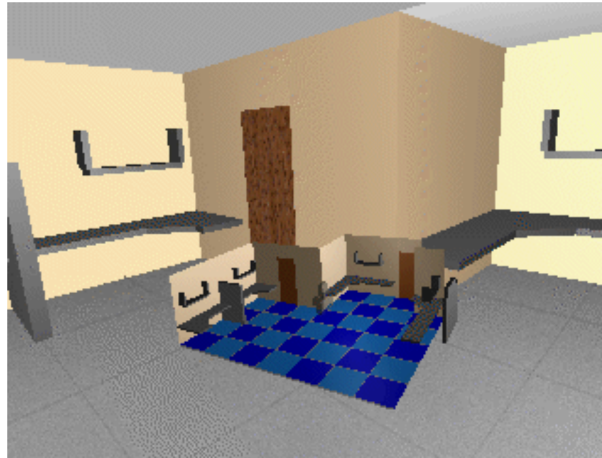
2.3.2.2 Minituras

World in Miniature (WiM) (STOAKLEY; CONWAY; PAUSCH, 1995) utiliza de um objeto, que representa o ambiente 3D em que o usuário está inserido (Figura 9), para possibilitar a interação com qualquer parte do cenário presente na miniatura. Seguindo a mesma ideia (WINGRAVE; HACIAHMETOGLU; BOWMAN, 2006) aprimoraram a técnica WiM, possibilitando a rotação e escala da miniatura, oferecendo uma interação muito mais dinâmica para o usuário, além de possibilitar miniaturas de terrenos maiores, exibindo apenas partes do terreno conforme as transformações na miniatura são aplicadas.

2.4 LOCOMOÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

Em ambientes de realidade virtual o usuário deve ser capaz de se movimentar para qualquer local desejado. Quando é feita a movimentação no mundo real com um óculos RV é possível traduzir essa movimentação dentro do ambiente virtual, porém essa forma de movimentação necessita a possibilidade do usuário de se locomover livremente, algo

Figura 9 – Técnica WiM sendo utilizada, representando a sala em miniatura para ser interagida.



Fonte: Adaptado de Stoakley, Conway e Pausch, 1995

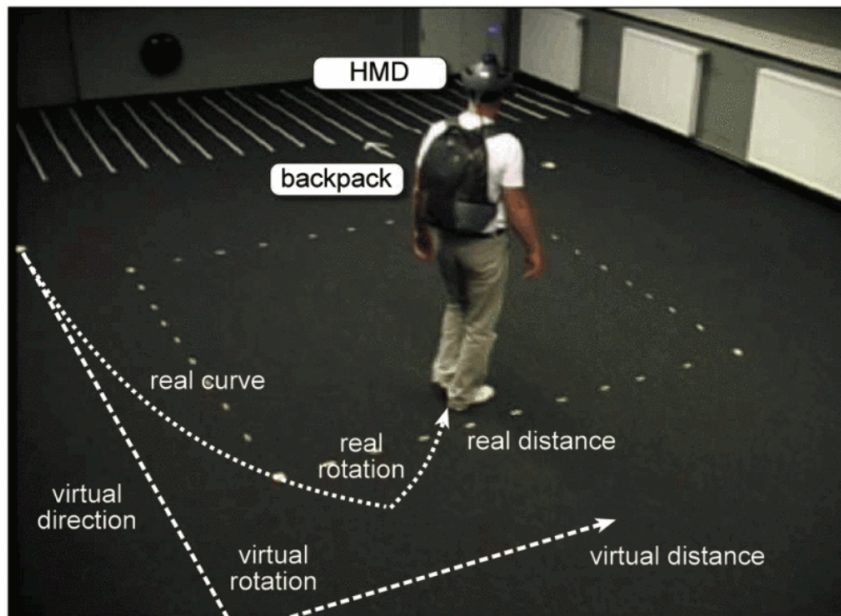
que muitas vezes não é possível, por isso técnicas de movimentação foram implementadas para suprir essa necessidade.

Dada a ampla variedade de aplicações na área da realidade virtual, é essencial realizar pesquisas para determinar o método mais apropriado a ser empregado. Dentre esses métodos, destaca-se o *Walk-In-Place*, que busca otimizar o realismo ao simular o movimento do usuário por meio de sensores, que captam os movimentos do corpo em uma plataforma estática, permitindo a navegação na aplicação (LEE; AHN; HWANG, 2012). Outra abordagem relevante é o *Redirected-Walking*, que guarda semelhanças com o *Walk-In-Place*, porém em vez de monitorar o movimento corporal do usuário em uma plataforma, o *Redirected-Walking* faz uso de uma sala física, onde o movimento do usuário dentro dela é traduzido em movimento virtual, conforme exemplificado por (STEINICKE et al., 2010), como ilustrado na Figura 10.

Cenários onde a movimentação do usuário é mais limitada, técnicas que não necessitam da movimentação no mundo real para serem traduzidas para a aplicação se tornam mais efetivas. *Steering* é uma das técnicas mais comuns utilizadas no universo de aplicações 3D, uma vez que é a tradução direta do uso de um *joystick* para a movimentação em qualquer direção desejada (HABGOOD et al., 2012). Além de controlar a movimentação também é possível através do analógico gerar rotações de qualquer grau em qualquer direção (*snap*) para facilitar a mudança de sentido da movimentação (MINE, 1995).

O principal desafio associado ao uso de técnicas de *Steering* na realidade virtual é o fenômeno conhecido como enjoo de movimento. Conforme discutido por (HABGOOD et al., 2012), esse enjoo muitas vezes é resultado da teoria do conflito sensorial, no qual ocorre uma discrepância entre as informações fornecidas pelo sistema vestibular e as informações visuais. Um exemplo desse conflito ocorre quando o usuário permanece fisicamente estático, mas percebe movimento no ambiente virtual. Isso pode induzir uma sensação chamada *vection*, a qual tem o potencial de causar o enjoo de movimento.

Figura 10 – Exemplificação do Redirected-Walking, a pessoa caminha no mundo real e a trajetória dela é calculada para o mundo virtual.



Fonte: Adaptado de Steinicke et al. (2010).

Locomoção com o uso de teletransporte é uma alternativa que não causa *vection* em seus usuários, uma vez que o movimento é feito instantaneamente. Existe várias formas de realizar esse teletransporte, (MINE, 1995) demonstrou o movimento *Goal Driven*, que consiste em determinar pontos em um ambiente que pode posteriormente ser selecionados via menu ou interação direta, que, logo após a seleção, o usuário é movido instantaneamente para a posição desejada. Outra forma proposta por (BOZGEYIKLI et al., 2016) consiste em apontar para um local dentro do espaço 3D e, após um período apontado para aquela direção, realizar o teletransporte, podemos observar este teletransporte à direita na Figura 11.

A alternativa proposta por (LINN, 2017) expandiu o método de movimento denominado *Gaze Directed* originalmente concebido por (MINE, 1995). Essa abordagem envolve o deslocamento do usuário na direção para a qual ele está olhando. No entanto, a inovação apresentada por Linn não se baseia em um movimento contínuo, mas sim na possibilidade de teletransportar o usuário para a posição desejada após pressionar um botão designado para essa finalidade, como ilustrado a esquerda na Figura 11.

2.5 INTERFACES NATURAIS DE USUÁRIO

O uso de interfaces naturais para a interação com aplicações encontra-se em constante progresso, visando proporcionar ambientes mais fluidos e acessíveis a diversos tipos

Figura 11 – Teletransporte utilizando observação à esquerda e teletransporte utilizando a direção onde a mão virtual está apontando à direita.



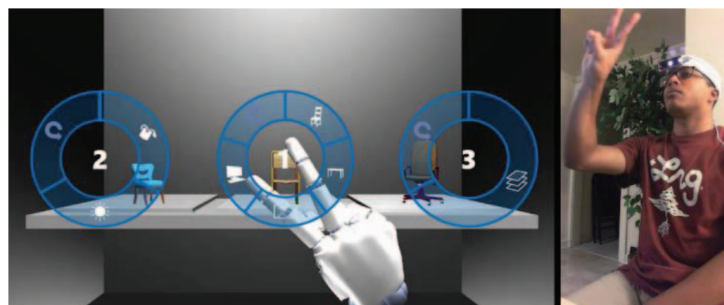
Fonte: Adaptado de Linn. (2017), Bozgeyikli et al. (2016)

de usuários. Embora dispositivos tradicionais, como o mouse, sejam eficazes para interações em ambientes, a interação pode se tornar desafiadora quando não há familiaridade prévia com o ambiente ou dispositivo. Nesse contexto, as interfaces que fazem uso de gestos naturais do usuário, como a fala, observação e toque, surgem como uma solução, facilitando a interação com a aplicação como discutido por (MALIZIA; BELLUCCI, 2012).

Aplicações em RV conseguem aplicar esse conceito com o uso de controles que captam os movimentos do braço do usuário e o uso de HMDs que conseguem captar o local onde o usuário está observando através de sensores acoplados juntos ao headset. Menus são elementos de interface que oferecem grande benefício ao usuário quando implementados com gestos naturais para interação, possibilitando interação com o ambiente e menu ao mesmo tempo.

A proposta do menu radial baseado em profundidade, (DAVIS et al., 2016), demonstra uma estratégia de aprimoramento na interação com grandes quantidades de informação, introduzindo gestos para a navegação entre camadas de menus (Figura 12). Esta abordagem se destaca, sobretudo, em cenários onde é necessário organizar extensas quantidades de informações dentro de um único menu.

Figura 12 – A esquerda menus radiais abertos utilizando gestos do usuário, a direita usuário com aparato equipado interagindo com o sistema.

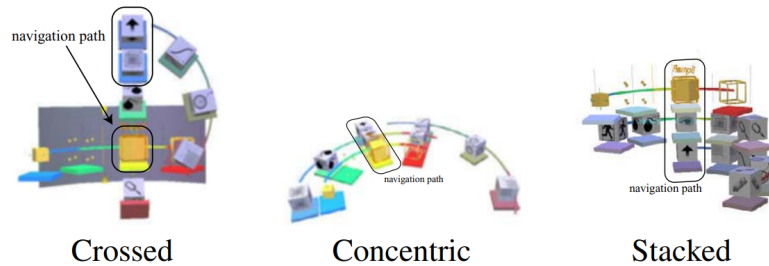


Fonte: Adaptado de Davis et al. (2016)

O Spin Menu (GERBER; BECHMANN, 2005), utiliza da rotação no plano horizontal

para a navegação em um menu de formato circular ao redor do usuário (Figura 13). Esse menu é posicionado em frente ao usuário, e ao realizar a rotação, os itens do menu se movem ao redor do usuário, sendo o item diretamente em sua frente selecionado. Essa abordagem torna menus preenchidos por miniaturas mais fácil de serem navegados, dado que eles estão dispostos ao redor do usuário, e o gesto natural de rotação facilita a navegação.

Figura 13 – Diferentes formas de organizar itens no contexto do Spin Menu.



Fonte: Adaptado de Gerber e Bechmann (2005)

Outra abordagem é o menu denominado *Look & Turn*, proposto por (REITER et al., 2022). Este menu baseia-se na observação e no movimento como métodos de navegação, com o intuito de oferecer uma interação mais natural em um sistema de menu complexo. Os *Bangles* (Figura 14), mencionados no artigo, são opções circulares conectadas ao braço do usuário, acessíveis por meio do direcionamento do olhar. Quando o jogador movimenta o braço em qualquer direção, o menu responde de acordo com a direção da rotação.

Figura 14 – Ilustração da utilização do menu Look & Turn com os Bangles acoplados no braço virtual do usuário.



Fonte: Adaptado de Reiter et al. (2022)

O artigo de (BUSTAMANTE et al., 2022) aborda três formas de implementação de menus radiais, com destaque para seu uso em aplicações do mundo real. Essas abordagens incluem o Movimento do joystick, a Rotação do Controlador e a Translação do Controlador. O Movimento do joystick refere-se à seleção de um item no menu por meio de um joystick, a Translação do controle envolve o balanço do controle em uma direção para selecionar um item, enquanto a Rotação do controle utiliza a rotação do pulso para selecionar itens.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo é mostrado trabalhos já realizados na área de realidade virtual e simulação, com conceitos que se assemelham ao proposto neste trabalho. As principais funcionalidades e diferenças serão levantadas e discutidas.

O simulador proposto por (BHAGAT; LIOU; CHANG, 2016) adota a realidade aumentada como plataforma para o treinamento de tiro de soldados, com o objetivo de reduzir custos e manter a curva de aprendizado comparável à do método tradicional. Para viabilizar um sistema com essas características, foi investigadas abordagens para implementar interfaces que utilizem de movimentos naturais do usuário, capazes de replicar com precisão os exercícios realizados em ambientes reais. A condução desses exercícios ocorre em um espaço físico contido, no qual a aplicação é projetada em um quadro branco especificamente mapeado para receber informações sobre os tiros efetuados pelo usuário durante a simulação (conforme ilustrado na Figura 15). A fim de proporcionar uma interação mais autêntica, foi desenvolvido um controle com peso e formato idênticos aos da arma utilizada pelo soldado em seu treinamento convencional. Esse controle incorpora sensores que capturam a direção na qual o usuário aponta, tanto para a navegação no sistema quanto para as seções de testes de tiro.

Figura 15 – Exemplo de utilização do simulador proposto por Chang. (2016).



Fonte: Adaptado de Chang. (2016)

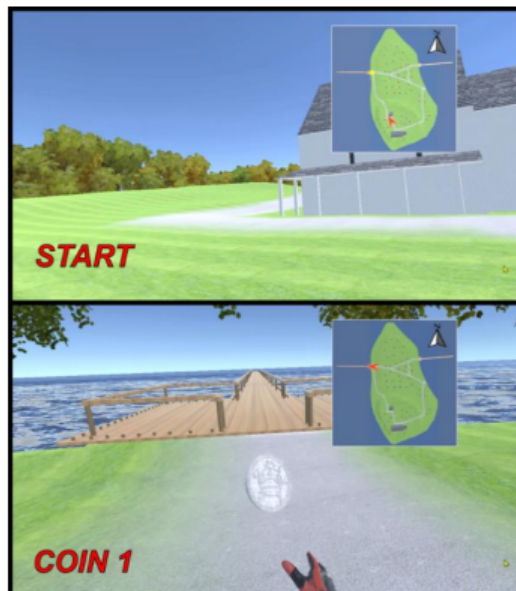
Este trabalho procurou inserir conceitos de realidade virtual em um simulador para treinamento militar. A implementação foi focada no treinamento de tiro e a melhoria da experiência do usuário, com utilização de controles que se assemelham a instrumentos que irão utilizar em campo. A principal diferença desse simulador para o proposto neste trabalho é a imersão. O treino do tiro é realizado utilizando um quadro que projeta o local de treinamento de tiro com elementos de realidade aumentada para proporcionar uma tabela de pontuação e obstáculos entre os alvos. Como não é utilizada nenhuma ferramenta de realidade virtual para auxiliar na imersão do soldado a experiência dele fica somente visual

sem a sensação de presença no local de treinamento.

Outra principal diferença é a atuação do soldado na simulação. O SIS-ASTROS é o simulador da bateria ASTROS, tendo foco no contexto da bateria, não de cada soldado. Dessa forma a presença física do soldado serve somente para visualização de pontos estratégicos, áreas de importância ou construções que são de interesse para a bateria.

O estudo conduzido por (ZAGATA et al., 2021) testa a integração de um mini-mapa em aplicações de realidade virtual (Figura 16). Esse mini-mapa é projetado para fornecer informações em tempo real sobre a posição do usuário, bem como a localização de objetos e metas dentro do ambiente virtual. Navegar em ambientes de realidade virtual pode ser desafiador, uma vez que o usuário se encontra completamente imerso em um ambiente desconhecido. No contexto desse estudo, um mini-mapa foi desenvolvido para orientar o usuário em relação à sua posição e à distribuição de moedas em uma ilha virtual. Os experimentos realizados envolveram a coleta dessas moedas, utilizando tanto a locomoção contínua quanto o teletransporte como métodos de movimento. A análise dos resultados obtidos nos experimentos revelou que a utilização do mini-mapa contribuiu para uma redução significativa no tempo necessário para concluir a tarefa, independentemente do método de locomoção empregado.

Figura 16 – No quadro Start mostra o usuário no estado inicial com a posição da moeda no mini-mapa, no quadro Coin 1 mostra o usuário prestes a coletar a moeda e sua posição atualizada no mini-mapa.



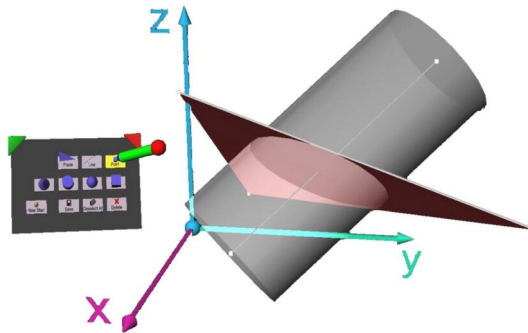
Fonte: Adaptado de Zagata, Krzysztof e Gulij (2021)

Este trabalho propõe o uso do mini-mapa para contextualização do objetivo e posição do usuário no cenário em realidade virtual. A principal diferença proposta nesse trabalho é a utilização do mini-mapa não somente como um auxiliador visual mas sim como um instrumento capaz de reposicionar o usuário por toda extensão do terreno, dessa forma, além de auxiliar na visualização da sua posição ou de pontos de interesse, ajudar também

na locomoção.

O trabalho conduzido por (KAUFMANN; SCHMALSTIEG; WAGNER, 2000) apresenta uma abordagem que utiliza a realidade virtual e Interfaces Naturais de Usuário (NIUs) para aprimorar o ensino de geometria e matemática. O sistema denominado Construct3D, proposto no artigo, tem a capacidade de calcular e modelar formas geométricas tanto em 2D quanto em 3D (conforme ilustrado na Figura 17). Para tornar essa interação possível, o sistema emprega uma abordagem de interação indireta por meio de um menu contendo miniaturas dos objetos que podem ser manipulados na aplicação. Quando esses objetos são selecionados, os usuários têm a capacidade de ajustar sua rotação e escala conforme suas necessidades. Além disso, o sistema oferece suporte por voz por meio de uma assistente virtual para auxiliar os usuários nas operações desejadas.

Figura 17 – Menu de formas aberto e a visualização de um cilindro dentro do software Construct3D.



Fonte: Adaptado de Kaufmann, Hannes e Schmalstieg (2000)

O uso de painéis flutuantes nesse trabalho se limita para sua posição inicial, tendo sua localidade fixa uma vez que aberto. Nesse trabalho a principal diferença entre os painéis propostos no Construct3D é sua ancoragem, uma vez que são ancorados no corpo do usuário e o seguem enquanto estão abertos.

MINING-VIRTUAL é a aplicação em RV proposta por (GÜRER; SURER; ERKAYA-OĞLU, 2023), sendo um programa que visa educar usuários com um simulador baseado em práticas de mineração. O sistema é capaz de realizar treinamentos como navegação, extração e movimentação de minérios, tarefas que são consideradas perigosas e que se treinadas em cenários reais podem ter um risco muito grande de ocorrer acidentes. Com foco em minas de carvão o simulador insere o jogador em diferentes tarefas que seguem o roteiro de extração do minério, durante cada tarefa o jogador é exposto a questionários sobre as ações que devem ser realizadas na ordem correta para evitar acidentes. A navegação no simulador é realizada através de teletransporte por de âncoras (Figura 18) posicionadas na extensão da mina, com foco em áreas de interesse para o treinamento do usuário.

MINING-VIRTUAL mostrou como utilizar realidade virtual para treinamento de mineração, com técnicas de interação direta e movimentação por teletransporte. Nesse tra-

Figura 18 – Visualização da mina de carvão e as âncoras de teletransporte que o usuário pode interagir.



Fonte: Adaptado de Gurer, Surer e Erkayaoglu (2023)

balho tem como principal diferença o uso de múltiplas técnicas de movimentação para auxiliar ainda mais o usuário em sua movimentação pelo terreno, podendo alterar entre movimentação contínua ou por teletransporte. Outro fator de diferença é a liberdade do teletransporte, uma vez que em MINING-VIRTUAL o teletransporte é realizado por locais previamente disponibilizados ao usuário e neste trabalho ele pode ser realizado em qualquer ponto do terreno.

Em suma os trabalhos, descritos nesse capítulo, mostram a viabilidade da utilização de realidade virtual para treinamento de usuários, a utilização de mini-mapas para o auxílio do usuário e a utilização de painéis flutuantes interativos para melhorar a interação do usuário com o sistema. Estes conceitos foram utilizados e aprimorados neste trabalho, para trazer uma interação ainda mais intuitiva e fluída para o usuário.

4 MODELAGEM DA APLICAÇÃO

Este capítulo apresenta a abordagem adotada para modelar a estação RV e suas funcionalidades. São detalhados o levantamento do principal problema a ser resolvido, a descrição da solução, a demonstração das funcionalidades do sistema e as tecnologias utilizadas para viabilizar a solução.

4.1 O PROBLEMA

Em ambientes de realidade virtual, a locomoção e a interação são fundamentais para proporcionar uma experiência imersiva ao usuário. Entretanto, em espaços virtuais extensos, a locomoção apresenta desafios, pois métodos tradicionais como teletransporte ou movimentação contínua podem ser lentos ou desajeitados. Surge, assim, a questão central: como permitir que o usuário alcance eficientemente qualquer ponto do terreno?

Uma pesquisa de técnicas de locomoção foi realizada, com destaque para o método World-in-Miniature (STOAKLEY; CONWAY; PAUSCH, 1995), que oferece uma locomoção instantânea, mas pode ser considerado não apropriado para uma interação com um terreno, devido à miniatura na mão do usuário perder a precisão e a referência do terreno. Diante disso, a proposta envolveu a utilização de uma representação do terreno em 2D para facilitar a seleção de pontos de locomoção. Inicialmente, foi prototipado um mini-mapa na forma de um painel que acompanha o usuário.

A utilização do painel como um mini-mapa para o usuário levantou um novo problema: como o usuário interagiria com o painel, os objetos na aplicação e se locomoveria apenas com o conjunto limitado de botões do controle? A prototipação de menus foi iniciada para integrar essas funcionalidades em um local de fácil acesso. Interfaces convencionais, como point-and-click, mostraram-se desafiadoras em ambientes de realidade virtual devido à necessidade de mirar para selecionar itens. Como solução, propôs-se um menu que utiliza o movimento natural de rotação do braço para selecionar itens dispostos radialmente ao redor do controle do jogador.

Portanto foi iniciado a prototipação de menus para conseguir integrar todas essas funcionalidades em um local de fácil acesso para o usuário. A ideia de menus radiais mostrou-se promissora para um ambiente de realidade virtual, uma vez que eles podem facilmente ser navegados e possuem uma semelhança com pulseiras, aproximando a interface para algo comum ao usuário. Então foi proposto um menu que utiliza do movimento natural de rotação do braço para selecionar seus itens dispostos de forma radial ao redor do controle do jogador.

4.2 REQUISITOS DO SISTEMA

Os requisitos do sistema compreendem as diretrizes funcionais e não funcionais que o projeto deve seguir para assegurar a entrega completa do produto ao usuário. Para esta aplicação, essas regras visam facilitar a integração da estação no ecossistema do simulador SIS-ASTROS, abrangendo suas principais funcionalidades.

4.2.1 Requisitos funcionais do sistema

A Tabela 1 enumera os requisitos funcionais essenciais para a construção da estação RV, destacando suas relações e os atores associados a cada funcionalidade.

Tabela 1 – Requisitos funcionais para a estação RV

RF	Descrição	Autor	Requisitos Relacionados
RF01	A estação deve permitir movimentação contínua e por teleporte	Usuário	
RF02	A estação deve permitir visualização do terreno 3D da aplicação	Usuário	RF01
RF03	A estação deve permitir visualização dos objetos presentes na aplicação	Usuário	
RF04	A estação deve permitir visualização do mini-mapa do terreno	Usuário	RF02
RF05	A estação deve permitir interação com painéis flutuantes	Usuário	
RF06	A estação deve permitir ampliar e mover a imagem do terreno presente no mini-mapa	Usuário	RF04
RF07	A estação deve permitir teletransporte pelo mini-mapa	Usuário	RF04 RF05
RF08	A estação deve permitir interação com menus radiais	Usuário	
RF09	A estação deve permitir interação com as viaturas presentes na simulação	Usuário	RF01 RF06 RF07

Fonte: Próprio Autor.

4.2.2 Requisitos não funcionais do sistema

A Tabela 2 apresenta os requisitos não funcionais identificados para a construção da estação RV, estabelecendo diretrizes para garantir que a estação proporcione uma experiência alinhada com as expectativas do usuário.

Tabela 2 – Requisitos não funcionais levantados para estação RV.

RNF	Descrição	Tipo
RNF01	A estação deve permitir o usuário acesso a qualquer local do simulador	Usabilidade
RNF02	A estação deve permitir ao usuário interação natural com os menus presentes	Usabilidade
RNF03	A estação deve rodar com no mínimo 30 FPS (Quadros por segundo)	Desempenho
RNF04	A resposta de qualquer interação do usuário com o ambiente deve ser imediata	Desempenho
RNF05	Todas implementações devem funcionar utilizando o HMD HP Reverb G2 e seus controles	Hardware
RNF06	A aplicação deve rodar nos sistemas operacionais Windows 10 e Windows 11	Software
RNF07	A estação deve ser capaz de conectar com a estação servidor localmente	Rede
RNF08	A estação deve sempre estar sincronizada com as demais estações	Rede

Fonte: Próprio Autor.

4.3 FUNCIONALIDADES

A estação RV é responsável por viabilizar todas as interações do usuário na aplicação de realidade virtual. Para construir as principais funcionalidades necessárias para a estação RV foi levantado histórias de usuário descrevendo cada característica que o usuário deseja ao interagir com a estação.

- **Épico 1: Eu, como Usuário, gostaria de me locomover pelo terreno para que seja possível alcançar qualquer local dentro do simulador.**

Tabela 3 – História de usuário movimentação livre

US 1 - Movimentação livre
<p>Para que eu possa me locomover pelo terreno Gostaria de poder me movimentar livremente Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve ser possível se movimentar para qualquer direção observável. - A movimentação deve ser feita através do valor do analógico e a direção de observação da câmera.

Tabela 4 – História de usuário movimentação teletransporte

US 2 - Movimentação teletransporte
<p>Para que eu possa me locomover pelo terreno Gostaria de poder me movimentar por teletransporte Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve ser possível se movimentar para qualquer direção observável. - Deve ser possível apontar para qualquer posição do terreno e se teletransportar.

Tabela 5 – História de usuário movimentação pelo mini-mapa

US 3 - Movimentação pelo mini-mapa
<p>Para que eu possa me locomover pelo terreno Gostaria de poder me movimentar por teletransporte através do mini-mapa Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve estar aberto o painel com o mini-mapa. - Deve ser possível selecionar no mini-mapa qualquer ponto e realizar o teletransporte.

- **Épico 2: Eu, como Usuário, gostaria de interagir com uma interface dentro da estação de realidade virtual para que seja possível seleção de qualquer item presente do menu.**

Tabela 6 – História de usuário visualizar menu radial

US 1 - Visualizar menu radial
<p>Para que eu possa interagir com o menu radial Gostaria de visualizar ele Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve ser possível abrir o menu através do clique do botão primário do controle direito.

Tabela 7 – História de usuário selecionar item no menu radial

US 2 - Selecionar item no menu radial
<p>Para que eu possa interagir com o menu radial Gostaria de selecionar qualquer item presente nele Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve ser possível rotacionar o menu enquanto o botão secundário do controle direito estiver pressionado. - Deve ser selecionado o item que no topo do menu radial quando o botão secundário do controle direito for solto. - A rotação deve ser realizada através da rotação do pulso do usuário.

- **Épico 3: Eu, como Usuário, gostaria de interagir com objetos presentes dentro da estação de realidade virtual para que seja possível interação com qualquer objeto de interesse.**

Tabela 8 – História de usuário ingressar viatura

US 1 - Ingressar viatura
<p>Para que eu possa ingressar em uma viatura Gostaria de selecionar e entrar qualquer uma presente na simulação Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Os veículos devem já estar carregados. - A interação deve ser feita utilizando a técnica HOMER. - A opção de ingressar a viatura deve ser selecionada no menu radial.

Tabela 9 – História de usuário selecionar painel

US 2 - Selecionar painel
<p>Para que eu possa interagir com painéis flutuantes Gostaria de poder abrir e selecionar painéis Sendo usuário</p>
<ul style="list-style-type: none"> - O usuário deve já estar liberado pelo instrutor. - O terreno já deve ter sido carregado. - Deve ser selecionado somente um painel para interação. - Qualquer painel ativo que seja diferente do selecionado deve ser fechado na seleção. - A Interação deve ser realizada utilizando a técnica HOMER.

4.4 ARQUITETURA

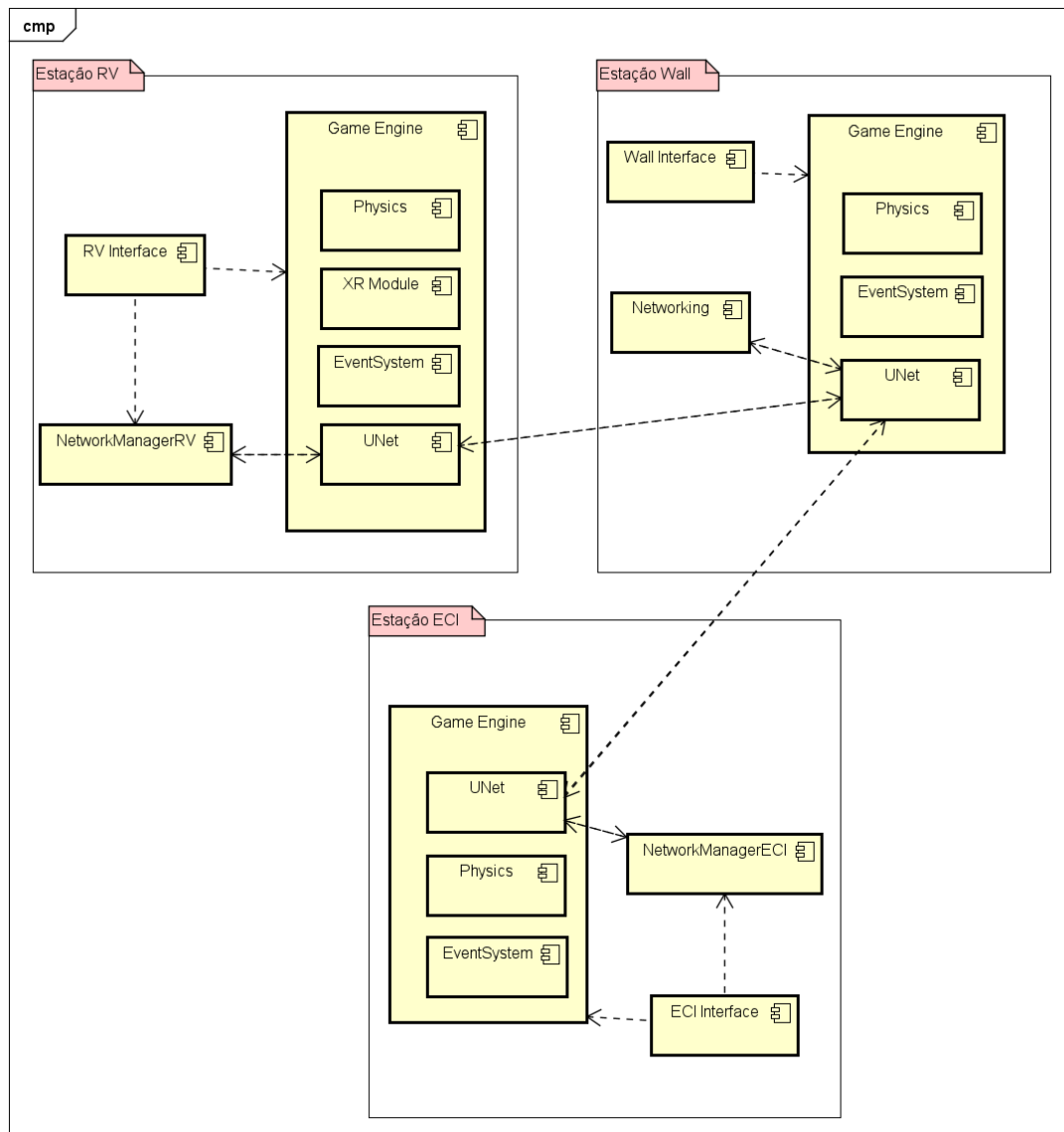
Esta seção apresenta a arquitetura simplificada dos componentes da aplicação, com ênfase nos elementos que impactam a estação RV. A arquitetura Cliente-Servidor foi escolhida para a aplicação, alinhada com a utilizada no simulador SIS-ASTROS, simplificando a comunicação entre as estações. No simulador, a estação Wall desempenha o papel de servidor, enquanto as demais estações solicitam e enviam informações para manter todo o sistema atualizado. Na Figura 19 é possível visualizar como essa arquitetura Cliente-Servidor é estruturada e como a estação RV está integrada a esse contexto.

A estação RV é responsável por processar todos os dados do usuário e transmiti-los pela rede para o servidor, que, por sua vez, os distribui para as demais estações conectadas. Por meio da estação de RV, os usuários podem interagir com a aplicação utilizando os controles e o HMD.

A estação servidor, denominada Wall, gerencia as comunicações essenciais entre todos os clientes conectados. Assim, quando a estação RV é iniciada, ela solicita uma conexão e, ao ser realizada, é feita uma instância em rede do objeto que representa o usuário. Com a execução desse comando, todas as estações passam a ter uma representação local do usuário, possibilitando a realização de diversas interações.

A estação cliente denominada ECI (Estação de Controle Instrutor) é empregada como um exemplo de interação cliente-cliente. Dentro desta estação, foi incorporada a funcionalidade de movimentação do jogador por meio de Drag and Drop da representação 2D do usuário. Dado que o objeto é sincronizado em rede, todas as alterações realizadas na ECI são transmitidas em rede para a estação RV e vice-versa.

Figura 19 – Diagrama de Componentes simplificado das estações do simulador SIS-ASTROS.



Fonte: Próprio autor

Para uma compreensão mais clara do simulador e suas estações, podemos resumir as interações da seguinte maneira: A aplicação tem início com a inicialização do servidor, a estação Wall. Após essa inicialização, aguarda-se a conexão da estação ECI, que contém as informações do exercício a ser utilizado. Após a inicialização da ECI, o terreno e os objetos são carregados na estação Wall e transmitidos para todos os clientes conectados. Em seguida, ocorre a conexão da estação RV, que solicita a instância do personagem do usuário em todas as estações e dá início à interação direta do jogador com o simulador.

4.4.1 Componentes

O simulador possui como componente comum entre as estações a Game Engine, que no caso é o conjunto de classes da Unity. No diagrama da Figura 19 é levantado apenas uma amostra de todos componentes presentes na Engine, para fins de poder diferenciar o principal módulo que é o XR Module, utilizado somente pela estação RV.

Estação RV: A seguir é descrito os componentes que compõem a estação RV.

- **RV Interface:** Responsável pela comunicação dos inputs do usuário com o simulador, através de eventos que realizam chamadas para diferentes componentes da Game Engine, além de solicitar comandos em rede.
- **NetworkManagerRV:** Possui todas classes responsáveis pela comunicação da estação RV com o servidor. A comunicação é realizada através de comandos solicitados no lado cliente e tratados no lado servidor.
- **XR Module:** Este componente é o que possibilita as interações em realidade virtual no simulador, configurando a visualização através do Head Mounted Display, localização dos controles para interação com o ambiente, dentre outras funcionalidades.

Estação ECI: Os componentes da estação ECI possuem uma arquitetura parecida com a estação RV, pois também é uma estação cliente, em seguida temos a explicação de seus componentes.

- **ECI Interface:** Também trata os inputs que o usuário manda, tendo como principal diferencial a sua visualização, que no caso ao invés de mostrar o ambiente 3D da aplicação, mostra somente um ambiente 2D com representações dos objetos através de figuras.
- **NetworkManagerECI:** Responsavel pela comunicação com servidor, também utiliza de comandos para suas chamadas.

Estação Wall: A estação Wall, além de ser servidor, possui uma visualização 3D da aplicação, podendo observar os eventos que ocorrem dentro da simulação. Seus principais componentes são.

- **Wall Interface:** Conjunto que classes que cuidam da interação do usuário com a estação Wall. Consistindo em diferentes modos de visualização do 3D da simulação, podendo ser movimentação livre, possibilitando controle direto com a câmera, câmera orbital, que é a opção de sobrevoar um objeto específico da simulação ou câmera fixa, que trava a sua posição e não é afetada por nenhum outro comando.
- **Networking:** Componente responsável por iniciar todos os componentes de network da simulação. Inicia os objetos em rede e guarda as referências para todos objetos que devem ser sincronizados em rede.

as quatro diferentes movimentações e funções auxiliares para a animação dos itens presentes no menu.

- **NetVrManager:** Responsável pela comunicação com o servidor e as outras estações.
- **RequestType:** Enumerador com as opções disponíveis de ordem que o usuário pode solicitar durante a simulação.
- **RequestVR:** Estrutura de uma ordem lançada em rede.
- **NetSoldierVr:** Classe com características que somente o componente Net da estação RV possui.
- **NetSoldier:** Classe responsável para a representação em rede do soldado na simulação.
- **LocalSoldierVr:** Classe com características que somente o soldado na estação RV possui.
- **SoldierController:** Classe responsável pelo controle de todas instâncias locais de soldado em qualquer uma das estações.
- **State:** Enumerador de todos estados possíveis que um soldado pode alcançar durante a simulação.
- **SoldierErrorCode:** Enumerador responsável por classificar o estado de erro de um soldado.

4.5 APARATO

Para este trabalho foi utilizado o óculos de realidade virtual HP Reverb G2, que possui taxa de atualização de 90Hz e resolução de 2016x2160 para cada olho. Junto com o óculos foi utilizado os controles Reverb G2 Controllers para fazer o *tracking* da posição das mãos do usuário e interação com a aplicação (Figura 21).

4.6 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado o motor gráfico Unity, tendo um ecossistema vasto com ferramentas de auxílio ao desenvolvimento. Para a criação dos

Figura 21 – Óculos de realidade virtual HP Reverb G2 e os controles Reverb G2 Controllers.



Fonte: Próprio autor

protótipos em RV foi utilizado o plugin Windows Mixed reality Toolkit e o pacote de desenvolvimento XR Interaction Toolkit, ambos dando suporte à criação de funcionalidades em realidade virtual. A conexão entre os dispositivos de RV e a aplicação desenvolvida foi realizada com a API OpenXR. Todos os códigos implementados utilizaram a linguagem de programação C#. A comunicação da estação em realidade virtual e as outras estações do simulador foram realizadas utilizando a arquitetura de conexão Cliente-Servidor através da API Netcode for Gameobjects.

5 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, descreve-se a implementação da estação na qual os protótipos são construídos e, posteriormente, integrados ao simulador SIS-ASTROS. Além disso, são detalhados os protótipos individuais que compõem a estação RV, proporcionando locomoção e interação em ambientes de grande escala. Por fim, aborda-se a conclusão da estação de RV, incluindo todas as funcionalidades projetadas, e sua subsequente integração com o simulador.

5.1 FUNCIONALIDADES DESENVOLVIDAS

Nesta seção, cada atividade que o usuário é capaz de realizar na aplicação é exemplificada, descrevendo quais abordagens foram tomadas para cada um dos casos de uso.

5.1.1 Estação de prototipação

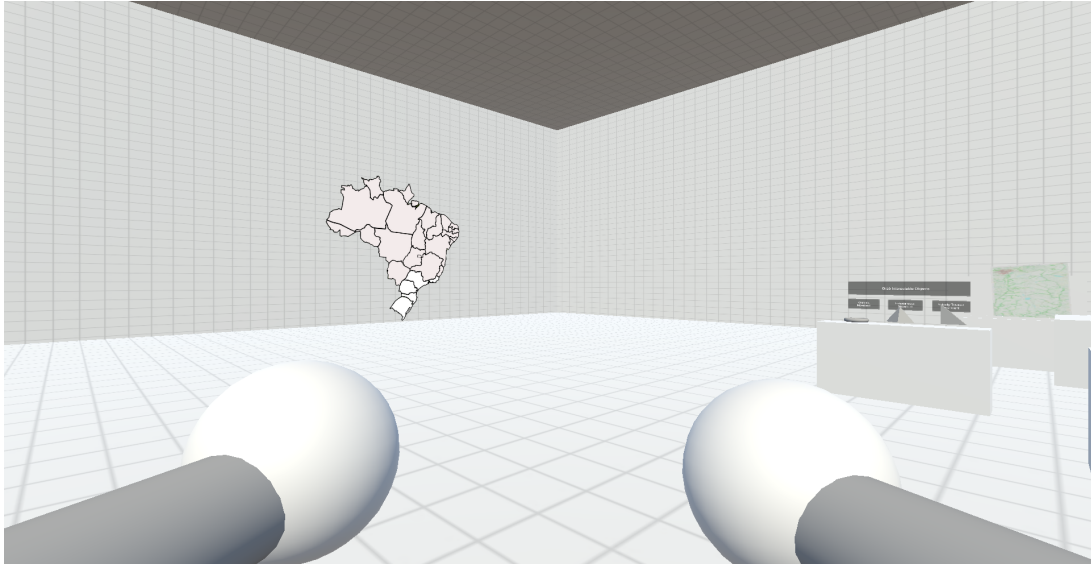
O desenvolvimento de cada funcionalidade da estação RV é realizado por meio de protótipos, que são implementados em uma área separada do contexto da aplicação final. Após a conclusão dos protótipos, a integração e os testes são realizados. Inicialmente, foi criada a estação na qual os protótipos são implementados, como podemos observar na Figura 22. A construção dessa estação visou manter a simplicidade, com o propósito de avaliar o peso de cada protótipo e, assim, minimizar a carga que sua integração possa representar.

A estação engloba objetos distribuídos em uma sala, os quais podem ser interagidos conforme necessário. Além disso, inclui interfaces que permitem a alteração e leitura de texto. À medida que novos protótipos são desenvolvidos, são acrescentados novos objetos ou interfaces a essa aplicação, com o objetivo de garantir a adaptação contínua para testar todas as funcionalidades necessárias de cada protótipo.

5.1.2 Personagem do usuário

O primeiro protótipo desenvolvido consiste no Rig RV, que compreende um conjunto de funcionalidades que representam o usuário dentro do ambiente de realidade virtual, possibilitando a visualização do terreno, com a sensação de estar inserido dentro da aplicação. A configuração da câmera do usuário e o controle das mãos virtuais foram

Figura 22 – Visualização da estação de prototipação com objetos utilizados para teste.



Fonte: Próprio autor

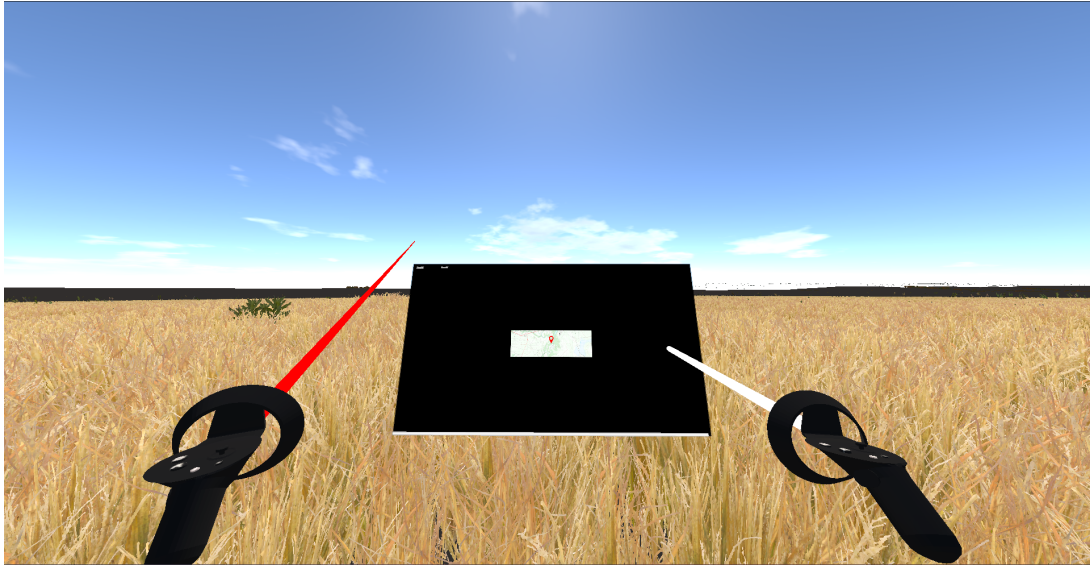
adaptados do XR Interaction Toolkit, que oferece scripts predefinidos para essas funcionalidades.

5.1.3 Interação com o ambiente

Para a estação foi utilizada a técnica HOMER, que permite ao usuário selecionar e interagir com objetos presentes na simulação, sem a necessidade de estar fisicamente próximo do objeto (Figura 23). A técnica HOMER, como previamente explicada no Capítulo 2, utiliza o método de ray casting para a seleção de objetos que o usuário deseja interagir. Uma vez que um objeto é selecionado, o usuário tem a capacidade de rotacioná-lo e movimentá-lo livremente. Após a conclusão da interação, o objeto é liberado na simulação e volta a ser afetado pela física presente na aplicação.

Para interação com a interface, foram incorporados painéis flutuantes que se ancoram ao corpo do Rig RV. Independentemente do conteúdo presente em cada painel, eles permanecem constantemente dentro do campo de visão do usuário. Para garantir essa disposição, é realizado um cálculo usando a classe GeometryUtility, a qual proporciona funcionalidades para interagir com a geometria dos objetos no espaço 3D, a fim de determinar sua visibilidade na câmera. Caso um painel não esteja visível, ele é reposicionado até retornar à visualização da câmera. Cada painel é aberto individualmente, portanto, quando um novo painel é selecionado, qualquer painel previamente aberto é fechado.

Figura 23 – Exemplo de interação utilizando a técnica HOMER.



Fonte: Próprio autor

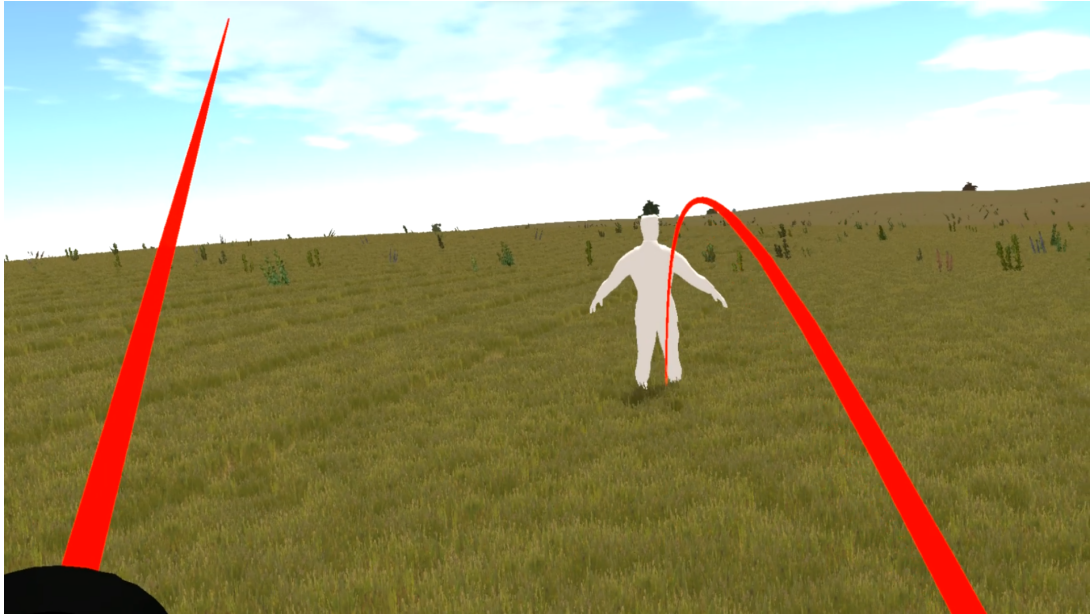
5.1.4 Movimentação

Para a implementação da movimentação do Rig RV, foram incorporadas duas opções: a locomoção contínua e a locomoção por teletransporte. A locomoção contínua foi realizada por meio do uso das direções do analógico do controle; ao ser empurrado em uma direção, o usuário é movido na direção correspondente em relação à sua orientação visual. A locomoção por teletransporte foi implementada através de ray casting, que consiste em traçar um raio a partir do controle até colidir com um objeto ou superfície. Quando ocorre a colisão, um evento é acionado, fornecendo informações sobre as coordenadas de colisão, o objeto em questão, a camada na qual o objeto está inserido, entre outros dados. Esses dados são então visualmente apresentados ao usuário, por meio de um objeto que representa o usuário no ambiente virtual, indicando a posição e orientação para onde o teletransporte será realizado após a seleção (Figura 24). Com o destino definido, o usuário é teletransportado para as coordenadas de colisão do raio, ficando livre para realizar qualquer ação subsequente de sua escolha.

5.1.5 Menu radial

Foi desenvolvido um menu radial para facilitar a navegação entre diferentes painéis e funcionalidades essenciais do simulador (DOMENICO et al., 2023). O objetivo principal do menu é proporcionar uma interação natural para o usuário, assim, foram realizados estudos e testes para incorporar movimentos intuitivos na interação com os elementos do menu. Após a pesquisa, implementou-se um menu radial que permite a interação através

Figura 24 – Exemplo de movimentação por teletransporte com indicador do local aonde irá se movimentar.



Fonte: Próprio autor

da rotação do pulso (Figura 25). Ao pressionar o botão de interação, o menu gira na direção em que o usuário move a mão, e quando o item desejado fica no topo do controle virtual do usuário, basta soltar o botão de interação para selecionar o item.

Para este protótipo foi desenvolvido quatro formas diferentes técnicas de interação com o menu, sendo elas: Um por um, ângulo para destaque, rotação por ângulo e direção da rotação. A interação um por um utiliza somente a direção da rotação do pulso para rotacionar o menu em um único item para a direção escolhida, quando o usuário volta para a posição de descanso, que é a posição inicial da interação com o menu, o menu fica liberado para rotacionar mais uma vez em qualquer direção. A técnica ângulo para destaque, ao invés de rotacionar os itens, rotaciona somente o indicador, traduzindo a rotação do braço para a rotação do indicador, acompanhando a direção da rotação. A rotação por ângulo é a implementação que mantém o menu preso na rotação do controle quando é ativado o botão de interação, dessa forma, rotacionando ele de acordo com o ângulo da rotação do controle, quando soltado o botão de interação o item que está na posição abaixo do indicador é selecionado. Por fim foi implementado a direção da rotação, essa técnica utiliza somente a rotação do braço para indicar a direção que irá rotacionar o menu, enquanto o braço manter a rotação na direção o menu mantém sua animação de rotacionar, uma vez que o braço retorna para posição de descanso o menu para sua rotação e quando o botão de ação é solto o item abaixo do indicador é escolhido.

A construção desse menu radial possibilitou a escrita do artigo "Radial Menu for Virtual Reality Based on Wrist Rotation" aprovado no "25th Symposium on Virtual and Augmented Reality" (2023). Versão completa presente no apêndice A.

Figura 25 – Exemplificação da interação do menu radial realizada pela rotação da mão do usuário, dentro da estação de prototipação.



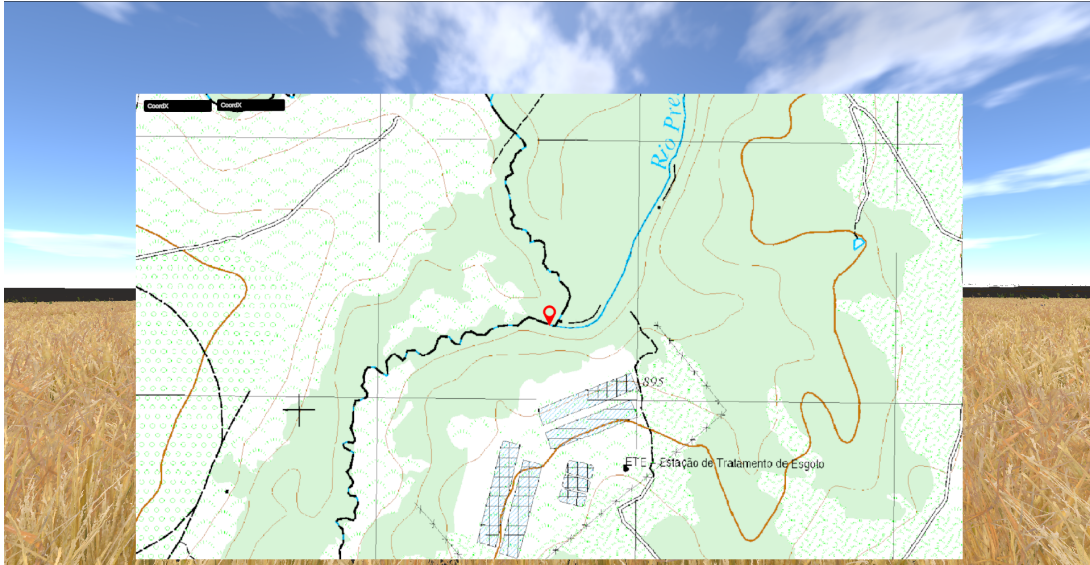
Fonte: Próprio autor

5.1.6 Mini-mapa

Após o desenvolvimento dos painéis, deu-se início à criação do mini-mapa. A proposta é utilizar o painel flutuante para fornecer uma representação em 2D do terreno. Para alcançar esse objetivo, foi instanciada a carta do exercício, que consiste em uma carta topográfica de um terreno de testes. Após a etapa de criação da carta, a câmera designada somente para o mini-mapa é posicionada para observá-la. Utilizou-se o componente `RenderTarget` para captar a imagem da câmera e posteriormente exibir a imagem observada em um componente de imagem (`RawImage`) presente no painel do usuário. O resultado dessa implementação pode ser visualizado na Figura 26.

Com a visualização da carta pronta, foram introduzidas manipulações no mini-mapa. As manipulações implementadas na estação foram a ampliação e a transladação. Para a ampliação, foi adotado o movimento de afastar os braços para aumentar a imagem e aproximá-los para reduzir a imagem. A ativação da ampliação ocorre somente quando o usuário está interagindo com os dois controles no mini-mapa. Enquanto ambos raios estiverem interagindo com o painel, a ampliação ou redução será executada. Para a transladação da imagem, é necessário apenas que o raio do controle direito entre em contato

Figura 26 – Painel com imagem do mapa ampliada.

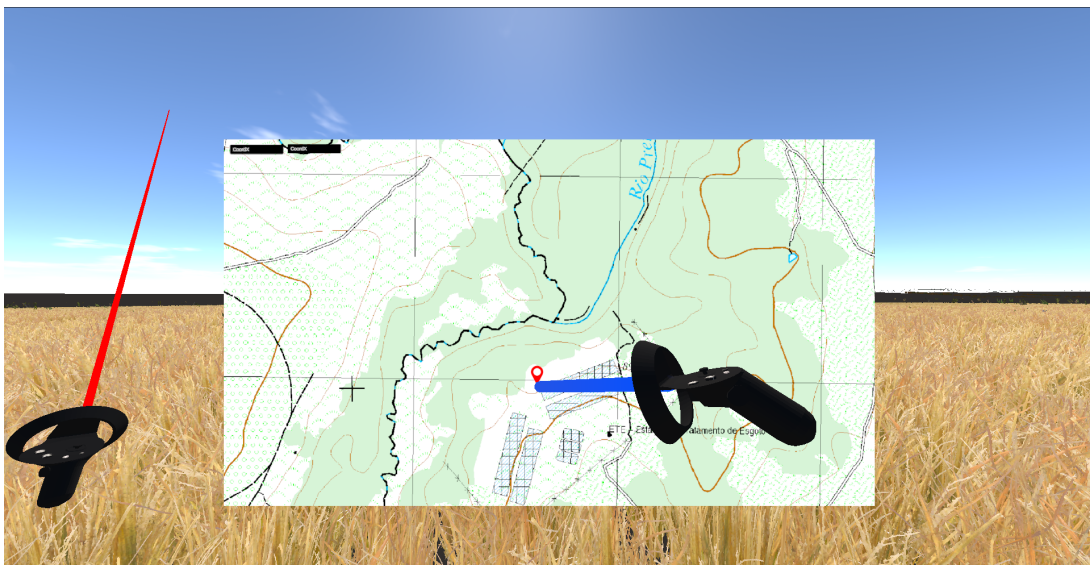


Fonte: Próprio autor

com o painel. Após a seleção, ao movimentar o braço em qualquer direção, a imagem será deslocada.

Com as manipulações prontas, foi implementado o teletransporte através do mini-mapa. Utilizou-se raycast para obter a posição desejada, essa posição é traduzida para as coordenadas de mundo para conseguir mover o personagem no terreno. A seleção do ponto é realizada através do botão de gatilho do controle esquerdo, e quando o ponto é considerado válido, um símbolo marcador de posição é instanciado na localização desejada (Figura 27). Quando o botão é solto, o teletransporte é executado.

Figura 27 – Exemplo de seleção de ponto para teletransporte.



Fonte: Próprio autor

5.2 VALIDAÇÃO

Esta seção delinea os testes conduzidos para validar a implementação das funcionalidades desenvolvidas neste trabalho, bem como apresenta possíveis validações para aprimorar ainda mais o produto final, alinhando-o às expectativas do usuário.

O menu radial passou por validação por meio da criação de um ambiente de testes no qual os participantes executaram a atividade de escolher cores presentes no menu radial para colorir um painel com a representação do Brasil (Figura 28). Cada participante dispôs de 45 segundos para completar a tarefa, e os resultados foram categorizados como inapto (participantes que não concluíram a tarefa dentro dos 45 segundos utilizando a técnica específica), semi-perfeito (participantes que finalizaram a tarefa, mas com erros na escolha das cores durante a aplicação da técnica específica) e perfeito (participantes que concluíram a tarefa sem cometer erros). Os participantes foram distribuídos em três categorias distintas com base em seu conhecimento e familiaridade com aplicações em realidade virtual: iniciante, intermediário e experiente. O recrutamento abrangeu um total de 9 participantes, sendo 4 iniciantes, 3 intermediários e 2 experientes.

Figura 28 – Tarefa em execução que cada usuário participou.



Fonte: Próprio autor

Para obter os resultados foi medido o tempo de cada um para selecionar cada

uma das cores, depois foi feito o desvio padrão das escolhas e a média de cada participante, além da classificação de cada um. Após esse levantamento foi construído os dados presentes na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado obtido durante o teste realizado

	Média	Desvio	Perfeito	Semi-Perfeito	Inapto
Rotação por ângulo	2.97s	2.9	88%	12%	0%
Ângulo para destaque	3.14s	1.9	55%	45%	0%
Direção da Rotação	4.48s	2.18	88%	12%	0%
Um por Um	5.06s	6.73	33%	45%	22%

Os métodos de rotação por ângulo e direção de rotação apresentaram resultados comparáveis, embora a direção de rotação tenha obtido uma média superior entre as preferências dos usuários. Este resultado pode estar associado à imposição de uma velocidade fixa para a seleção dos itens do menu, o que requer que o usuário aguarde para efetuar a escolha.

A abordagem de interação um por um revelou-se mais desafiadora para usuários intermediários e iniciantes, uma vez que demandava um maior número de movimentos para a seleção de cada item. Nesse método, era necessário rotacionar na direção desejada e, em seguida, retornar à posição inicial para cada item no percurso desejado. O erro mais recorrente observado consistiu no retorno à posição inicial, com os participantes repetidamente movendo seus braços sem atingir o ângulo desejado para classificá-lo como a posição de descanso da mão.

Segundo relato dos participantes o método de destaque por ângulo foi o mais preferido, mostrando mais conformidade ao usar, porém este conforto acarretou a mais escolhas erradas, uma vez que usuários iniciantes não conseguiam rotacionar precisamente a mão para selecionar os itens mais distantes.

A técnica de utilizar o mini-mapa para a navegação pelo terreno ainda não foi submetida a testes com usuários independentes do processo de desenvolvimento, visando sua validação. No entanto, durante a fase de implementação, foram conduzidos testes internos com o objetivo de aprimorar a interação com o painel flutuante, que incorpora o mini-mapa.

Durante os experimentos realizados, observou-se a necessidade de efetuar uma rotação no eixo X do painel com o propósito de otimizar a seleção de pontos no mini-mapa. Quando o painel é posicionado completamente reto diante do usuário e abaixo do nível ocular, a precisão na seleção de itens é comprometida devido a um desvio de posição. Esse desvio ocorre quando o raycast atinge o primeiro ponto de contato, e a representação visual da linha sugere erroneamente que a seleção ocorrerá em seu centro de contato. Entretanto, a posição final se encontra acima da localização desejada, resultando em uma distância significativa no terreno 3D. Com a introdução da rotação, o painel adquiriu uma in-

clinação na direção dos olhos do usuário quando observado de cima para baixo, facilitando assim a precisão na seleção de pontos no mini-mapa.

Ainda será conduzida uma seção de testes na qual serão convidados participantes para utilizar o mini-mapa como meio de movimentação em um terreno de grande escala. Após a utilização, cada participante será solicitado a responder ao questionário SUS (System Usability Score) para avaliar a usabilidade da técnica. Além disso, será aplicado o questionário NASA-TLX para mensurar a carga de trabalho imposta ao usuário durante a interação com o mini-mapa.

6 CONCLUSÃO

A implementação de uma estação em realidade virtual no simulador SIS-ASTROS obteve sucesso em seu objetivo de proporcionar uma experiência imersiva para a observação de eventos dentro da simulação. A introdução da realidade virtual no contexto do simulador enriquece as possibilidades de treinamento, mudando a perspectiva de visualização e trazendo novas formas de interação com simulação, contribuindo com a eficácia do processo de aprendizagem.

O objetivo principal deste trabalho foi, além de criar a estação em realidade virtual com interação, movimentação e visualização de elementos em ambientes de grande extensão, mantendo a experiência o mais natural possível para o usuário. Para alcançar esse objetivo, foi necessário estudar e implementar técnicas de locomoção, interação e visualização em realidade virtual, além de interfaces naturais de usuário.

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver técnicas em realidade virtual que consigam auxiliar o usuário a se locomover em ambientes de grande escala, como o simulador SIS-ASTROS utilizado, além de proporcionar formas de utilizar a movimentação natural para interagir com a interface do sistema.

A introdução de menus com interfaces naturais, fundamentadas em movimentos livres do usuário, aprimora significativamente a interação dentro do ambiente virtual. Essa abordagem prescinde do uso de métodos como o "point-and-click". A incorporação de movimentos naturais, tais como a rotação do pulso, contribui para uma experiência mais intuitiva e envolvente.

A inclusão de um mini-mapa na estação RV visa facilitar a locomoção em ambientes extensos, permitindo que os usuários visualizem e selecionem locais que desejam alcançar de forma fácil e eficiente, tornando possível o alcance a qualquer momento para qualquer localidade do terreno.

Em síntese, a concepção da estação de realidade virtual com métodos que possibilitam a movimentação em terrenos de grande escala ampliou consideravelmente as opções de treinamento no simulador SIS-ASTROS, proporcionando uma simulação mais fluida e prática para os usuários. A realização bem-sucedida dos objetivos propostos neste trabalho contribui para o progresso contínuo no campo da simulação virtual, introduzindo diversas técnicas de interação que se beneficiam dos movimentos naturais do corpo.

Dada a eficaz implementação da estação de RV, que incorpora elementos facilitadores da navegação em terrenos extensos e menus que viabilizam interações naturais do usuário, ainda há oportunidades para aprimorar as técnicas desenvolvidas. Nesta seção, apresentamos algumas sugestões para trabalhos futuros, buscando dar continuidade ao desenvolvimento das técnicas propostas.

Ao analisar o resultado da construção do mini-mapa, identificamos oportunidades

para aprimoramentos que poderiam potencializar ainda mais a interação do usuário com os painéis. A implementação de funcionalidades que permitissem a rotação, movimentação ou escalonamento do mini-mapa como um todo poderia aprimorar a visualização em diferentes perspectivas, proporcionando liberdade ao usuário para adaptar o painel de acordo com suas necessidades no momento.

Outra melhoria proposta envolve a implementação da capacidade de abrir múltiplos painéis, conferindo ao usuário a liberdade de selecionar diversas áreas para visualização simultânea. Essa funcionalidade facilitaria o teletransporte para diferentes locais e permitiria a criação de um painel dedicado à observação da posição inicial do salto, oferecendo a oportunidade de retornar exatamente a essa posição quando necessário.

Na área de interação dos menus radiais com movimentos naturais do usuário, é possível vislumbrar algumas melhorias para a experiência do usuário. Novas formas de interação com os itens podem ser consideradas, uma vez que apenas quatro foram testadas para a construção do menu utilizado neste trabalho. Outra proposta de aprimoramento envolve a implementação de menus com múltiplos níveis de profundidade, possibilitando a inserção de uma grande quantidade de itens.

Outro trabalho futuro seria a realização de testes com usuários para validar a interação com o mini-mapa ao movimentar-se por toda a extensão do terreno. Isso permitiria identificar melhorias na interação que poderiam não ser percebidas durante as fases de desenvolvimento e testes da estação.

REFERÊNCIAS

- AGHA, R. A.; FOWLER, A. J. The role and validity of surgical simulation. **SURGICAL TRAINING AND EDUCATION**, n. 8, p. 349–357, 2015.
- BERNARDO, A. Virtual reality and simulation in neurosurgical training. **World Neurosurgery**, v. 106, p. 1015–1029, 2017.
- BHAGAT, K. K.; LIOU, W.-K.; CHANG, C.-Y. A cost-effective interactive 3d virtual reality system applied to military live firing training. **SURGICAL TRAINING AND EDUCATION**, p. 127–140, 2016.
- BOWMAN, D. A.; HODGES, L. F. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In: **Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics**. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 1997. (I3D '97), p. 35–ff.
- BOWMAN, D. A. et al. An introduction to 3-d user interface design. **Presence**, v. 10, n. 1, p. 96–108, 2001.
- BOYLES, B. D. Virtual reality and augmented reality in education. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–12.
- BOZGEYIKLI, E. et al. Point & teleport locomotion technique for virtual reality. In: **Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. p. 205–216.
- BUSTAMANTE, M. et al. Colorbound: Comparing menu dynamics in virtual reality. In: **2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)**. [S.l.]: IEEE, 2022. p. 914–915.
- CARMIGNIANI, J. et al. Virtual reality and simulation in neurosurgical training. **Multimedia Tools and Applications**, v. 51, p. 341–377, 2011.
- DAVIS, M. M. et al. Depth-based 3d gesture multi-level radial menu for virtual object manipulation. In: **2016 IEEE Virtual Reality (VR)**. [S.l.]: IEEE, 2016. p. 169–170.
- DOMENICO, G. D. et al. Radial menu for virtual reality based on wrist rotation. **25th Symposium on Virtual and Augmented Reality**, p. 5, 2023.
- EDMOND, C. V.; WIET, G. J.; Bill Bolger, L. Virtual environments: Surgical simulation in otolaryngology. **Otolaryngologic Clinics of North America**, v. 31, n. 2, p. 369–381, 1998.
- FLETCHER, J. D. Education and training technology in the military. **Science**, v. 323, n. 5910, p. 72–75, 2009.
- GERBER, D.; BECHMANN, D. The spin menu: a menu system for virtual environments. In: **IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005**. [S.l.]: IEEE, 2005. p. 271–272.

GÜRER, S.; SURER, E.; ERKAYAOĞLU, M. Mining-virtual: A comprehensive virtual reality-based serious game for occupational health and safety training in underground mines. **Safety Science**, v. 166, p. 106226, 2023.

HABGOOD, M. P. J. et al. Rapid, continuous movement between nodes as an accessible virtual reality locomotion technique. In: **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. Germany: IEEE, 2012. p. 371–378. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8446130>. Acesso em: 03 set. 2023.

HALARNKAR, P. et al. A review on virtual reality. **IJCSI International Journal of Computer Science**, v. 9, n. 1, p. 325–325, 2012.

HAN, D.; KIM, D.; CHO, I. Portal: Portal widget for remote target acquisition and control in immersive virtual environments. In: . New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022.

KAUFMANN, H.; SCHMALSTIEG, D.; WAGNER, M. Construct3d: A virtual reality application for mathematics and geometry education. **Commun. ACM**, Education and Information Technologies, v. 5, n. 4, p. 263—276, mar 2000.

Labs.Monks. **Getting Our Hands Dirty with VR Hand Tracking**. Labs.Monks, 2023. Disponível em: <https://media.monks.com/articles/getting-our-hands-dirty-vr-hand-tracking>. Acesso em: 09 oct. 2023.

LEE, J.; AHN, S. C.; HWANG, J.-I. A walking-in-place method for virtual reality using position and orientation tracking. **Sensors**, v. 18, n. 9, 2012.

LELE, A. Virtual reality and its military utility. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 4, n. 9, p. 17–26, 2013.

LINN, A. **Gaze teleportation in virtual reality**. 2017.

LIU, W. Natural user interface- next mainstream product user interface. In: **2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design Conceptual Design 1**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1, p. 203–205.

MALIZIA, A.; BELLUCCI, A. The artificiality of natural user interfaces. **Commun. ACM**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 55, n. 3, p. 36–38, mar 2012.

MINE, M. R. **Virtual Environment Interaction Techniques**. USA, 1995.

MINE, M. R.; BROOKS, F. P.; SEQUIN, C. H. Moving objects in space: Exploiting proprioception in virtual-environment interaction. In: . USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997. p. 19–26.

PADILLA, Mariel. **Pika-Who? How Pokémon Go Confused the Canadian Military**. New York Times, 2020. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2020/01/01/world/canada/pokemon-go-canada-military.html>. Acesso em: 09 oct. 2023.

POUPYREV, I. et al. The go-go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in vr. **ACM Symposium on User Interface Software and Technology**, p. 79–80, 1996.

REITER, K. et al. Look & turn: One-handed and expressive menu interaction by gaze and arm turns in vr. In: **2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. (ETRA '22).

STEINICKE, F. et al. Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 16, n. 1, p. 17–27, 2010.

STOAKLEY, R.; CONWAY, M. J.; PAUSCH, R. Virtual reality on a wim: Interactive worlds in miniature. In: . [S.I.]: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. p. 265–272.

WINGRAVE, C. A.; HACIAHMETOGLU, Y.; BOWMAN, D. A. Overcoming world in miniature limitations by a scaled and scrolling wim. In: IEEE. **3D User Interfaces (3DUI'06)**. [S.I.], 2006. p. 11–16.

ZAGATA, K. et al. Mini-map for gamers who walk and teleport in a virtual stronghold. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 2, 2021.

APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO

O artigo "Radial Menu for Virtual Reality Based on Wrist Rotation" apresentado a seguir foi publicado e aprovado no 25° Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (2023) e aguarda publicação dos anais do evento.

Radial Menu for Virtual Reality Based on Wrist Rotation

Gabriel Di Domenico

gddomenico@inf.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

Mauren Walter D'avila

mauren.d'avila@ecomp.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

Natan Luiz Paetzhold Berwaldt

nlberwaldt@inf.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

Cesar Tadeu Pozzer

pozzer@inf.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

ABSTRACT

Rapid interaction with menus plays a crucial role in fast-paced real-time applications such as games and simulations, confronted with menus that contain a large number of options, especially when considering applications in virtual reality (VR). The conventional selection methods, such as raycasting, commonly used in these scenarios, tend to be cumbersome, imprecise and require unnecessary movements. To overcome these limitations, this paper explores different techniques that use the wrist rotation to interact with radial menus in an efficient and intuitive way. An experimental study was conducted involving multiple users to compare the effectiveness of the different solutions, demonstrating their ability to deliver seamless and efficient interactions within the virtual reality environment.

CCS CONCEPTS

• **Software and its engineering** → **Virtual worlds software**; • **Human-centered computing** → **User centered design**.

KEYWORDS

virtual reality, natural user interface, menu interaction

ACM Reference Format:

Gabriel Di Domenico, Natan Luiz Paetzhold Berwaldt, Mauren Walter D'avila, and Cesar Tadeu Pozzer. 2023. Radial Menu for Virtual Reality Based on Wrist Rotation. In *Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR '23)*, November 6–9, 2023, Rio Grande, Brazil. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3625008.3625022>

1 INTRODUCTION

The virtual reality environment is still an ever-evolving field that seeks ways to make human interaction more immersive within the virtual space. The most common interaction in virtual reality (VR) applications is done through ray casting, where the user points and selects options in the menu. One of the pioneers in developing this interaction method was the work from Liang et al. [5], which used a

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

SVR '23, November 6–9, 2023, Rio Grande, Brazil

© 2023 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

ACM ISBN 979-8-4007-0943-2/23/11...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3625008.3625022>

controller called "bat" that allowed the user to point at and interact with objects without physically grabbing them in the virtual world.

There are other forms of interaction in the virtual environment that do not involve direct hand manipulation but still utilize the concept of ray casting for object selection. In Sangyoon's et al. paper [4], the head-directed technique was mentioned, which is now commonly referred to as gaze interaction. The paper also proposed a head-hand technique, which involved using a ray from the head to the hand's position as a directional vector to select items in that direction.

While these forms of interaction limit the user to a point-and-click experience, in an environment that offers much more freedom of movement, the concept of Natural User Interface can improve this interaction. According with Weiyuan's [6], NUI aims to provide a more intuitive user-computer interaction by incorporating hand, eye, and voice commands to interact with objects, thereby delivering a freer and more immersive application.

The use of NUI's for menu interaction in VR is crucial for a more immersive experience. The idea of using natural gestures to interact with menus simplifies the workflow of any software by reducing the number of steps required for users to achieve their goals.

Building upon this premise, in this paper, we propose the use of vertical wrist rotation as a means to manipulate a radial menu that remains attached to the user's hand. Various forms of interaction were implemented to determine the most natural way to interact with the menu in this scenario. These included: rotating items one by one, rotating items based on the orientation of the wrist, rotating the menu based on angle, and highlighting items based on angle.

These methods of interaction with radial menus can be more efficient since it eliminates the need for extra movements to select the desired item. Only the movement of the wrist is required. This paper aims to identify the most natural and user-friendly way to navigate the menu. To achieve this, a prototype was implemented where users can choose colors in the menu to change the panel's presented color. In this prototype all menu implementations presented in this paper can be selected. Afterward, user experiences with each menu were collected through a experiment and evaluated to determine the best method in this scenario.

2 RELATED WORK

The use of NUIs to interact with applications is a subject that is evolving in the area of Virtual Reality environments. Several studies and research papers have contributed to the understanding and development of interaction techniques in VR environments. This

section provides an overview of the relevant literature that has explored different forms of user interactions with menus using NUI.

The Depth-based radial menu from Matthew et al. paper [2] demonstrates how the interaction with multiple menus can be improved by adding gestures to navigate between layers of menus. This approach is particularly useful when there is a large amount of data that needs to be organized within a single menu.

The spin menu proposed by Gerber et al. [3] utilizes horizontal plane rotation to navigate within a circular menu. The menu is presented in front of the user, and the item directly in front is the one to be selected. This method makes menus that interact with objects in the virtual world more intuitive to handle, as they are arranged around the user, and the natural gesture of rotation aids in navigation.

Another implementation is the Look & Turn menu, proposed by Reiter et al. [7]. This menu uses gaze and movement for navigation and aims to provide a natural interaction within a more complex menu system. The "bangles," as mentioned in the paper, are circular options attached to the user's arm and can be selected through gaze. When the player moves the arm in any direction, the menu responds accordingly.

The paper by Bustamante et al. [1] discusses three forms of implementation of radial menus, highlighting their usage in real world applications. The forms presented are: Joystick movement, Controller Rotation, and Controller translation. Joystick movement refers to selecting an item in the menu using a joystick, controller translation involves swinging the controller in a direction to select an item, and controller rotation utilizes wrist rotation to select items.

All of these implementations focus on different approaches to interact with a menu, particularly emphasizing rotation and radial menus, as showcased in Bustamante et al. [1] paper. The Controller Rotation-based menu, however, is limited to a semi-circular menu and a small number of selectable items. The implementation relies on the angle of rotation and the position of the item to select it.

3 STUDY

We made the decision to develop a radial menu that can be controlled solely by the rotation of the wrist. The menu is anchored to the virtual hand of the user and, upon activation, the rotation of the wrist will change the displayed items or indicator. This section will present the steps involved in implementing this approach, as well as the testing environment and the equipment utilized.

3.1 Implementation

The chosen engine to implement the menu was Unity, a robust engine with a vast community and a wide range of assets that make the implementation process intuitive. For manipulation and movement, the XR Interaction Toolkit was utilized. This package provides the fundamental tools for developing a VR application, including object interactions, canvas UI interactions, and XR controller inputs.

The basic menu consists of a list of buttons that are added within the Unity editor environment. For each entry is assigned a name, a sprite image, and a function.

When the menu is opened, the script arranges all the buttons in its list in a circular manner, as seen in Figure 1, creating a radial menu that is attached to the user's hand. The buttons are distributed in the way that they are equally spaced.



Figure 1: Radial menu opened with the selection activated. The selected button is always on top.

3.2 Proposal

In this section, we present our proposed approach for implementing the radial menu controlled by wrist rotation. We outline four main methods: "One by One Rotation", "Angle of Rotation", "Menu Rotation" and "Direction of Rotation".

3.2.1 One by One Rotation. The initial method consists in repositioning each button in the opposite direction of the wrist rotation, placing it in the position of its neighbor. The rotation occurs when the hand moves from a resting position to an angled posture (as shown in Figure 2), triggering the animation. The rotation can be done clockwise or counterclockwise, and as long as the hand remains in the desired rotation, the menu only move one step. When the hand returns to the resting position, the menu is free to rotate again. In this approach, the item positioned on top of the radial menu is set as selected.

In this style of interaction, the crucial factor is understanding when the hand is in a resting state. Since the hand can never be precisely still at one point, the initial tests played a vital role in determining the range of angles that can be considered as resting for the user's hand. After a study case handling the controller, a range of -6 to 6 degrees was deemed the most appropriate, because if the range is too wide or too short, it becomes more difficult to select the first items on the top of the radial menu.

3.2.2 Menu Rotation. This method is similar to the approach presented by Bustamante et al. [1]. The initial proposal was to rotate all the buttons one by one until the angle of rotation of the hand matched the position of the desired button using discrete animation to move the buttons instantly. This form of interaction was very



Figure 2: Illustration of how the menu rotates each entry one step in the contrary direction of the wrist rotation

confusing, because, the instability of the hand moved unintentionally the menu, resulting in the feeling that the entries were moving on their own.

One way to solve this was to introduce a margin of error in the selection, so the hand rotation would have to be within a certain range to be selected. However, this method showed inconsistency when the menu had more than 30 entries due to the angles of selection being too close to one another.

Another problem that this method faced was that the rotation of the wrist could not be a full 360° rotation, resulting in some items being unreachable. The solution proposed in this paper to solve this is to multiply the angle by two and ensure that the resulting angle does not exceed 360° degrees.

The final method applied utilizes this multiplied angle of rotation to determine how much the whole menu is rotated using continuous movement, and the entry that is most closely positioned to the indicator is the designed button to be chosen. Figure 3 describes how the rotation is done to navigate through the entries.

3.2.3 Highlight by Angle. The highlighting of the button utilizes the angle of rotation to determine which item is selected. In this method, as shown in Figure 4, none of the buttons update their positions on the menu. Instead, the indicator of each button is activated when the button aligns with the angle of rotation of the controller.

3.2.4 Direction of Rotation. This technique utilizes the direction of rotation of the controller to determine how to navigate the menu. Figure 5 illustrates how the rotation occurs with the rotation of the hand. The rotation can be done clockwise and counterclockwise, following the same parameters as described in the subsection "One-by-One Rotation." When the wrist rotation occurs, each button rotates in the contrary direction, creating a feeling that the menu is



Figure 3: Illustration showing the direction of the rotation of the menu following the rotation of the wrist.

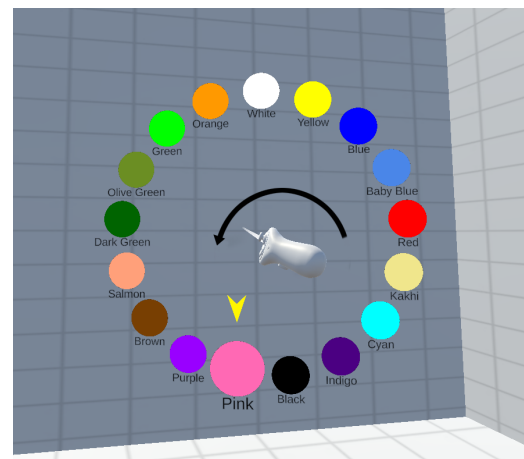


Figure 4: Highlight by angle mode, showing the button selected by the wrist rotation.

moving in the direction desired. When the hand comes to a resting position, the rotation stops, and the button that stops at the top of the menu is the highlighted to selection.

3.3 Procedure

To evaluate each menu, an environment was created consisting of a canvas with areas that can be fully colored when selected. Each participant was asked to choose a color from the menu and paint in any order. The testing session involved interacting with all four menu implementations within a set time of 45 seconds for each. The participants received a basic training on how to use the apparatus and the program. The results from this testing were categorized into three groups:



Figure 5: Illustration showing the direction that the menu continuously rotates in the contrary direction that the hand is rotated.

Faultless: This category describes participants who were able to perform all actions within the given time frame and without any additional steps to achieve their desired button in the menu.

Faulty: Participants, classified in this category, encountered difficulties, such as missing the right color selection, or passing through the color of choice, when selecting a button, but were still able to perform all actions within the given time frame.

Inapt: This category is dedicated to participants who were unable to perform their actions within the given time frame and experienced challenges in finding the desired item in the menu.

3.4 System and Participants

The application and tests were conducted using the Unity engine, running on a Windows platform with an AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor and an NVIDIA GeForce GTX 1070 graphics card. The VR headset used was an HP Reverb G2.

The participants who tested the menus were divided into three groups:

Beginner: Participants in this group had no prior experience with any VR applications.

Intermediate: Participants in this group had some previous interaction with VR applications and were familiar with how to handle the controllers and headset.

Expert: Participants in this group had a high level of proficiency with the apparatus and had previous experience building and/or using VR applications.

4 RESULTS

We collected data from 9 participants, of which 4 were beginners, 3 were intermediate, and 2 were experts who interacted with the menu. Figure 6 illustrates how the testing environment was implemented. We measured the mean time spent to select a color, the total time for task completion, and also calculated the standard deviation. The results are presented in Table 1, where the data is divided into the corresponding groups.

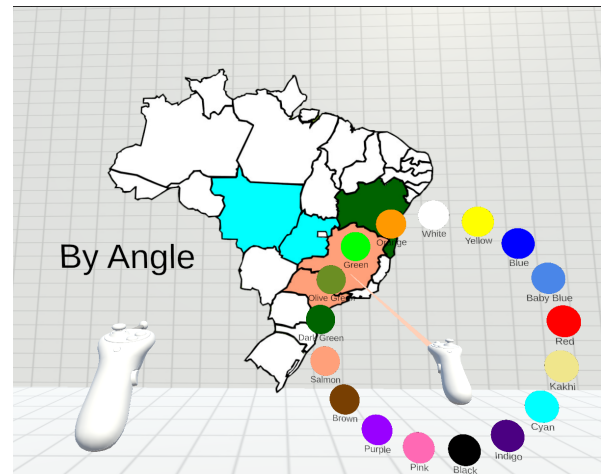


Figure 6: Illustration showing the canvas, the menu opened for a color selection and the left controller showing what type of interaction the user is utilizing.

The "Angle" and "Direction" methods showed similar results in the outcome of the test, but the Direction of Rotation showed a bigger mean time because of its fixed velocity of rotation, making the selection of items that are in the middle bottom of the menu slower.

One by One interaction was the most difficult for the users classified as beginners to understand. This resulted in a considerable mean time and therefore the only method that has inapt selections. The most common mistake was to not return the hand to a full resting position, making the menu to not rotate the items on movement.

The Highlight by Angle was the most liked method, all the users showed no stress when learning and testing the implementation, nevertheless, this contributed for more misses increasing the number of faulty selections and mean time of selection.

Table 1: Result from the different implementations

	Mean	Dev.	Faultless	Faulty	Inapt
Rotation by Angle	2.97s	2.9	88%	12%	0%
Highlight by Angle	3.14s	1.9	55%	45%	0%
Direction of Rotation	4.48s	2.18	88%	12%	0%
One by One	5.06s	6.73	33%	45%	22%

5 CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

In this paper, we present a solution that leverages wrist rotation to manipulate a radial menu, providing users with a more natural and seamless interaction in Virtual Reality applications. Our menu implementation is dynamic, allowing for easy editing and customization. Different interaction techniques can be utilized, depending on the specific menu being displayed.

Through our validation testing, we successfully demonstrated the usability of this metaphor. The best methods were the Highlight by Angle and the Rotation by Angle, which were the most successful methods using the premise of wrist rotation, taking into consideration the time to finish an action and the comfort of learning and understanding the implementation.

We also identified areas for further improvement to enhance the user experience. One particular aspect that can be developed is finding different ways to achieve the desired angle limitation imposed by the rotation of the wrist. Multiplying by two is not optimal for menus that have a small angle difference between the buttons.

The interaction with submenus in the radial menu is another area that can be further explored. This approach can overcome some of the limitations faced by fixed menus with dynamically sized for entries.

Further user studies and evaluations can be conducted to gather additional feedback and insights on the performance and usability of the wrist rotation menu. This can help to identify any potential issues and refine the concept of using the wrist to manipulate a radial menu.

In conclusion, our wrist rotation-based radial menu offers a promising approach to enhance user interactions in Virtual Reality environments. By providing a more intuitive and fluid experience, we believe this implementation has the potential to contribute to the advancement of Virtual Reality applications in various domains.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the Brazilian army and its Army Strategic Program AS-TROS for the financial support through the SIS-ASTROS GMF project (TED 20-EME-003-00).

REFERENCES

- [1] Maxwell Bustamante, Mike Livingston, James Hilley, Hannie Tran, Erik Lovejoy, and John T. Murray. 2022. ColorBound: Comparing Menu Dynamics in Virtual Reality. In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (Christchurch, New Zealand). IEEE, 914–915. <https://doi.org/10.1109/VRW5335.2022.00308>
- [2] Matthew M. Davis, Joseph L. Gabbard, Doug A. Bowman, and Dennis Gracanic. 2016. Depth-based 3D gesture multi-level radial menu for virtual object manipulation. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)* (Greenville, SC, USA). IEEE, 169–170. <https://doi.org/10.1109/VR.2016.7504707>
- [3] D. Gerber and D. Bechmann. 2005. The spin menu: a menu system for virtual environments. In *IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005*. (Bonn, Germany). IEEE, 271–272. <https://doi.org/10.1109/VR.2005.1492790>
- [4] SangYoon Lee, Jinseok Seo, Gerard Jounghyun Kim, and Chan-Mo Park. 2003. Evaluation of pointing techniques for ray casting selection in virtual environments. In *Third International Conference on Virtual Reality and Its Application in Industry*. SPIE, 38–44. <https://doi.org/10.1117/12.497665>
- [5] Jiandong Liang and Mark Green. 1993. Interaction Techniques for a Highly Interactive 3D Geometric Modeling System. In *Proceedings on the Second ACM Symposium on Solid Modeling and Applications* (Montreal, Quebec, Canada) (SMA '93). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 475–476. <https://doi.org/10.1145/164360.164533>
- [6] Weiyuan Liu. 2010. Natural user interface- next mainstream product user interface. In *2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1* (Yiwu, China). IEEE, 203–205. <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2010.5681374>
- [7] Katharina Reiter, Ken Pfeuffer, Augusto Esteves, Tim Mittermeier, and Florian Alt. 2022. Look & Turn: One-Handed and Expressive Menu Interaction by Gaze and Arm Turns in VR. In *2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (Seattle, WA, USA) (ETRA '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 66, 7 pages. <https://doi.org/10.1145/3517031.3529233>

NUP: 23081.160086/2023-76

Prioridade: Normal

Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
17	Trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.32)	TCC_Final.pdf

Assinaturas

20/12/2023 16:23:30

GABRIEL DI DOMENICO (Aluno de Graduação - Aluno Regular)
07.09.05.02.0.0 - Ciência da Computação - Bacharelado - 13881



Código Verificador: 3682025

Código CRC: ffbfea1

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

