

TURBO KART VR – SIMULADOR DE DIREÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

Vítor Gabriel Eduardo, Dalton Solano dos Reis – Orientador

Curso de Bacharel em Ciência da Computação
Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brasil
veduardo@furb.br, dalton@furb.br

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um simulador em realidade virtual imersiva, que tem como objetivo ensinar enquanto diverte. O simulador foi desenvolvido usando Unity e linguagem de programação C# com a ferramenta Visual Studio. O simulador busca por meio da diversão trazer aprendizado sobre direção e trânsito, para diversos públicos diminuindo os acidentes nas estradas. Foram utilizados, o Meta Quest 2 e um conjunto Logitech G29 com volante, pedais e marcha para aumentar a imersão. Para os testes participaram pessoas com algum contato com realidade virtual imersiva e condução de veículo com intuito de validar a imersão e mimetização do ambiente real. Os resultados mostram que a sensação de dirigir e os modos de terreno de terra e molhado, são satisfatórios trazendo imersão dentro do ambiente virtual. Contudo foi verificado a necessidade de um sistema de pontuação e mais orientações para guiar o usuário e instruções de direção do veículo.

Palavras-chave: Simulador de direção. Trânsito. Jogos educativos. Realidade virtual imersiva.

1 INTRODUÇÃO

O trânsito é um elemento presente direta ou indiretamente na vida de todos sendo muito importante para a sociedade como um todo. Como aponta o OMS, ONU (2020, p. 23), “mais de 90% das mortes no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda”, na qual a educação sobre o trânsito e a sinalização são deficitárias. As principais causas de acidentes são a velocidade excessiva em vias, embriaguez “138 mil penalidades” em 2.019 (ONSV, 2022, p. 25) e distração na direção que juntas cooperaram para um aumento de mortes no trânsito de 31.945 mortes em 2.019 para 32.716 mortes em 2.020 (ONSV, 2022).

A realidade virtual é uma ferramenta que simula a realidade no virtual como afirmaram Tori e Hounsell (2020, p. 11), “os ambientes virtuais são, ao mesmo tempo, reais”, assim estes ambientes não são simples ilusões em lentes e espelhos. A realidade virtual é uma área com um espectro que vai do mais real até o mais virtual, no Continuum de Milgram (Milgram *et al.*, 1994) e neste espectro se encontra o segmento de Realidade Virtual imersiva (RVI).

A Realidade Virtual imersiva é experienciada com uso de diversos dispositivos de entrada como: luvas eletrônicas, rastreadores, reconhecedores de voz, controles, esteiras 360 graus. Entre outros e dispositivos de saída como: headset, dispositivos táteis, óculos de realidade virtual imersiva entre outros. Todos estes dispositivos de hardware tem o objetivo de isolar o usuário do mundo real e imergir no virtual. De acordo com Tori e Hounsell (2020, p. 25) dentre os maiores desafios para a tecnologia estão o Uncanny Valley que é uma forte aversão a imagens, a Fidelidade com o mundo real em vários aspectos e a Ergonomia no uso prolongado.

Mesmo com os desafios, a realidade virtual imersiva já foi difundida em diversas áreas do aprendizado e segundo Lima (2022), uma das melhores opções de entrada do mercado é o Oculus Quest da empresa Meta. O Oculus Quest possui no seu kit básico, os óculos com displays de 120Hz de alta resolução e dois atuadores que servem como controles com botões e joystick para interagir com a realidade virtual imersiva. Com o Oculus Quest é possível criar um ambiente virtual de uma cidade e controlar a direção de um carro. Assim, neste ambiente virtual praticar o uso das regras de trânsito de forma segura e informativa, podendo se errar sem restrições.

Com o objetivo de solucionar os problemas apresentados e concretizar a meta de redução de acidentes proposta pela ONSV de diminuir até 2.030 cinquenta por cento a proporção de veículos trafegando acima do limite de velocidade e acidentes relacionadas ao álcool e substâncias psicoativas, a estratégia seguida é a conscientização do trânsito através da educação com o projeto Observatório Educa (Educação para mobilidade consciente). Assim levando em consideração os fatores anteriores, os objetivos específicos do trabalho são:

- Criar um cenário dinâmico que simule alguém dirigindo em um carro;
- Utilizar o Óculos Quest 2 com volante, pedal e marcha para aumentar a imersão;
- Testar a eficácia do simulador com grupos de usuários.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

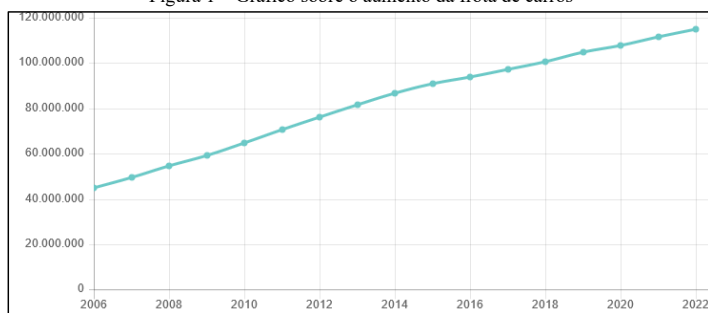
Nesta seção serão apresentados os conceitos que fundamentam o simulador desenvolvido. Fundamentos sobre o trânsito (subseção 2.1). Explicação sobre conceitos de realidade virtual imersiva (subseção 2.2). Por fim, a apresentação dos trabalhos correlatos (subseção 2.3)

2.1 TRÂNSITO

Os dados da DataSUS comentados pela ONSV (2022) indicam que os óbitos aumentaram 2% no país de 2.019 para 2.020 e as penalidades por embriagues aumentaram quase 120%. Vale lembrar que 2.020 foi um ano com pandemia no qual pessoas ficaram em casa. A ONSV (2022) verificou também que os óbitos nos sábados e domingos entre o mês de janeiro e fevereiro nos anos de 2.021 e 2.022, onde os dados mostraram que o houve um aumento de 13% de óbitos nesse período. Todos esses dados apontam para como a preocupação com o trânsito deve ser tratada com seriedade.

Como mostra a Figura 1, a frota de carros apenas cresce ano após ano e não demonstra sinais de decadência. Foi levantado pela OMS, ONU (2020) e OPAS (2022) que países de baixa e média renda precisam se preocupar mais com esses índices pois são os mais afetados. Aspectos como infraestrutura deficitária, veículos inseguros, educação sobre o trânsito ruim, segundo eles são determinantes para o grande aumento dos acidentes. Há também o uso do álcool na direção e o excesso de velocidade nas vias, segundo o OPAS (2022) cerca de 27% dos casos de morte em acidentes em 2016 são atribuídos ao uso de álcool.

Figura 1 – Gráfico sobre o aumento da frota de carros



Fonte: IBGE (2022).

De acordo com a OMS (2023) países que criam mais leis de trânsito e tem aplicações mais pesadas para as infrações cometidas constroem ambientes com menos risco de acidentes leves e fatais. Leis como o uso de cinto de segurança, uso de capacete, limites de velocidade, limites de álcool no sangue e cadeira de criança, são apontadas como referência na proteção a vida. A OMS (2023) correlaciona o uso de capacetes com uma redução dos riscos de morte e traumatismo craniano em 74% em casos de acidentes. Contudo essas leis não devem ser apenas criadas, mas sim reforçadas a quem deverá tomar esses cuidados com campanhas de marketing para que as leis façam o devido efeito.

2.2 REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA

A realidade virtual é um ambiente no qual se pode errar sem as consequências físicas reais da ação, podendo abrigar verdadeiras simulações para o aprendizado irrestrito. Jogos são um exemplo de aplicação para a realidade virtual com uma dessas experiências. Os jogos já tiveram seu potencial validado a muito tempo pelos pedagogos como destacam Kopfler, Osterweil e Salen. (2008, p. 1, apud Abreu, 2012, p. 312) “os jogadores exibem, regularmente, elementos como persistência, assumem riscos, atenção a detalhes, assim como a habilidade de se resolver problemas. Elementos esses que se acredita serem ideais se demonstrados regularmente no ambiente escolar.”.

Essa capacidade da tecnologia pode ser explorada ainda mais em um ambiente de realidade virtual imersivo, no qual além da visão em um televisor plano e interações básicas é possível ser transportado com ainda mais intensidade com o uso de óculos de realidade virtual e atuadores para o ambiente virtual. Devido a diversos avanços nas Graphics Processing Unit (GPUs) o processamento para essas aplicações foi viabilizado podendo estar diretamente nos óculos de realidade virtual. Possibilitando a existência de dispositivos conhecidos como All in One como o Oculus Meta Quest 1, 2 e 3. Estes dispositivos possuem todo o hardware necessário para a experiência imersiva funcionar em um dispositivo, como: bateria, telas, sensores, GPU e Central Processing Unit (CPU).

O que diferencia todo esse equipamento de uma interação teclado/mouse e monitor é a imersão que a interação causa. A imersão é percebida através de diversas variáveis, sendo a presença a mais destacada entre elas. Uma definição é que “a percepção psicológica que o usuário tem de estar no ambiente virtual” pode ser maximizada com esses

equipamentos (Slater; Wilbur, 1997). A imersão é quem causa toda a confusão cerebral em que o usuário age como se estivesse no mundo real porque naquele momento para ele, aquele é o mundo real.

2.3 TRABALHOS CORRELATOS

Os trabalhos de Buzzi (2018), Andriola (2021) e Masterton e Wilson (2023) exploram distintas abordagens para aprimorar a educação e segurança no trânsito por meio de tecnologia. Buzzi (2018) (Quadro 1) desenvolve um jogo educacional usando Unity para ensinar legislação de trânsito e cuidados com veículos e condutores aplicando diversas leis e regras do mundo real dentro do jogo. Andriola (2021) (Quadro 2) valida a eficácia de um simulador de direção imersivo em replicar comportamentos reais de direção em ambiente virtual com um cenário ambiente real, como rua e carro, transcritos para dentro de um jogo em realidade virtual imersiva. Masterton e Wilson (2023) (Quadro 3) utilizam realidade virtual para simular os efeitos do álcool na habilidade de condução, evidenciando um aumento significativo no tempo de resposta e na dificuldade de identificar objetos quando os participantes estão sob efeito de embriaguez simulada. Esses estudos destacam a importância da tecnologia na educação e conscientização sobre a segurança no trânsito, oferecendo abordagens inovadoras para promover comportamentos responsáveis e reduzir riscos nas estradas.

Quadro 1 – TransitAR – Jogo de Conscientização Sobre Trânsito

Referência	Buzzi (2018)
Objetivos	Instruir com diversão através de um jogo educacional focado em crianças e adolescentes.
Principais funcionalidades	Aplicar as regras de trânsito e situações diárias na estrada em parâmetros visíveis em tela o tempo todo para que o jogador perceba o impacto delas dentro do jogo de maneira responsiva e imediata.
Ferramentas de desenvolvimento	Motor de jogos Unity, conhecimentos contidos na lei 9.503/97 e suas resoluções complementares.
Resultados e conclusões	O aplicativo conseguiu entreter e ensinar leis de trânsito, porém ainda há necessidade de adicionar mais validações para aplicar mais leis e cenários colocando mais elementos do trânsito.

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho de Buzzi (2018) apresenta o “TransitAR”, um jogo educativo desenvolvido com o motor gráfico Unity, destinado a ensinar crianças e adolescentes sobre as regras de trânsito de forma divertida. O jogo avalia parâmetros como mecânica e combustível do veículo, descanso do condutor e pontos do jogador, ajustando esses valores conforme regras específicas e eventos relacionados às leis de trânsito. Desta forma, o trabalho de Buzzi (2018) é relevante por oferecer uma abordagem interativa ao ensino das leis de trânsito, mas poderia se beneficiar de um cenário mais complexo e de novas tecnologias para maior engajamento e realismo.

Quadro 2 – Análise da Validade Comportamental de Um Simulador de Direção Imersivo

Referência	Andriola (2021)
Objetivos	Validar se um simulador de direção imersivo para simular os comportamentos de alguém dirigindo num ambiente real.
Principais funcionalidades	Captação de dados de um carro instrumentalizado e direção em simulador de direção monitorada.
Ferramentas de desenvolvimento	SAEPRO, Blender e o motor de jogos Unity.
Resultados e conclusões	Existe sim uma relação entre o mundo real e virtual para as medidas de velocidade e posição lateral em rodovias de pista simples.

Fonte: elaborado pelo autor.

O estudo de Andriola (2021) foi conduzido para validar se um simulador de direção imersivo pode replicar os comportamentos de motoristas em ambientes reais, visando possibilitar a realização de testes em ambientes virtuais sem riscos. Com esse objetivo, um trecho de 13 km de uma rodovia no Rio Grande do Sul foi reconstruído virtualmente. O experimento contou com dois grupos: um utilizou um simulador na LASTRAN, equipado com volante, câmbio manual, pedais e óculos de realidade virtual, enquanto o outro dirigiu na mesma estrada real. Os dados comparativos indicaram uma relação entre o mundo real e o virtual em termos de velocidade e posição lateral em rodovias de pista simples.

Quadro 3 – A Case Study of a Virtual Reality-Based Drink Driving Educational Tool

Referência	Masterton1 e Wilson (2023)
Objetivos	Identificar como o álcool afeta o reflexo, a identificação de objetos e a concentração das pessoas.
Principais funcionalidades	Monitoramento de onde o usuário está olhando e filtro de embriaguez.
Ferramentas de desenvolvimento	Motor de jogos Unity.
Resultados e conclusões	Com filtros gráficos e atrasos de tempo, a ferramenta simulou com sucesso os efeitos do álcool, como a redução das habilidades de observação, concentração e tempo de reação.

Fonte: elaborado pelo autor.

O estudo de Masterton1 e Wilson (2023) busca identificar como o consumo de álcool afeta o reflexo, a identificação de objetos e a concentração, utilizando um Google Cardboard para realidade imersiva e filtros que simulam

os efeitos da embriaguez. Os dados mostraram que, os participantes dedicaram menos atenção a objetos importantes e aumentaram seu tempo de resposta com o filtro de embriaguez.

3 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR

Nesta seção serão apresentados detalhes do desenvolvimento do simulador, dividido em três categorias especificação, implementação e operacionalização. A especificação (subseção 3.1) contendo os Requisitos Funcionais (RFs) e Requisitos Não Funcionais (RNFs) além de explanações sobre aspectos funcionais. A implementação (subseção 3.2) que detalha o ferramental, dificuldades e escolhas feitas no desenvolvimento. Por fim, a operacionalização (subseção 3.3) contendo um guia de usuário da aplicação.

3.1 ESPECIFICAÇÃO

Para melhor entendimento do simulador segue abaixo os RFs no Quadro 2 e os RNFs no Quadro 3.

Quadro 2 – Requisitos Funcionais

RF01	O simulador deve possuir um menu inicial para a escolha de diferentes cenários
RF02	O simulador deve mimetizar as mãos reais para mão virtuais dentro do ambiente virtual
RF03	O simulador deve mostrar o movimento do volante real dentro do ambiente virtual
RF04	O simulador deve possuir um sistema de feedback no volante para pista molhada
RF05	O simulador deve possuir um sistema de feedback no volante para pista de terra
RF06	O simulador deve colocar o usuário em primeira pessoa dentro de um kart
RF07	O simulador deve colocar um sistema de sinto de segurança
RF08	O simulador deve colocar um sistema para o motor morrer
RF09	O simulador deve ter um sistema de troca de marcha
RF10	O simulador deve considerar pedais de embreagem, aceleração e freio independentemente
RF11	O simulador deve aplicar força G aplicada ao kart
RF12	O simulador deve ter um sistema de injeção eletrônica
RF13	O simulador deve ter um sistema de rotação do motor e rotação de roda independente
RF14	O simulador deve aplicar força de torque conforme a rotação interna do motor e marcha atual
RF15	O simulador deve aplicar freio a motor conforme a rotação interna do motor

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 3 – Requisitos Não Funcionais

RNF01	O simulador deve ser desenvolvido no Unity
RNF02	O simulador deve rodar no computador
RNF03	O simulador deve utilizar C# como linguagem de programação
RNF04	O simulador deve utilizar o Quest 2 como exibição de vídeo
RNF05	O simulador deve ler dados do ambiente real do Quest 2
RNF06	O simulador deve ler dados dos controles Logitech G29 (pedais e volante) e a Câmbio DE9 Logitech.

Fonte: elaborado pelo autor.

O simulador desenvolvido coloca o usuário como condutor de kart, onde poderá experimentar diversas sensações de direção de um automóvel. Ele possui um menu com 5 cenários para escolher onde cada um possui uma paisagem, pistas e traçados diferentes e algumas orientações sobre o simulador. Após selecionado um cenário a sua escolha o usuário é levado para dentro de um kart onde é necessário colocar o sinto para habilitar ligar o automóvel e ligar o motor por um botão presente no volante. O volante possui diversas funções integradas como um modo de feedback de estrada de terra e outro de pista molhada, além de diversos mapeamentos para se posicionar na cena visto que posicionamento no ambiente virtual errado pode prejudicar a experiência.

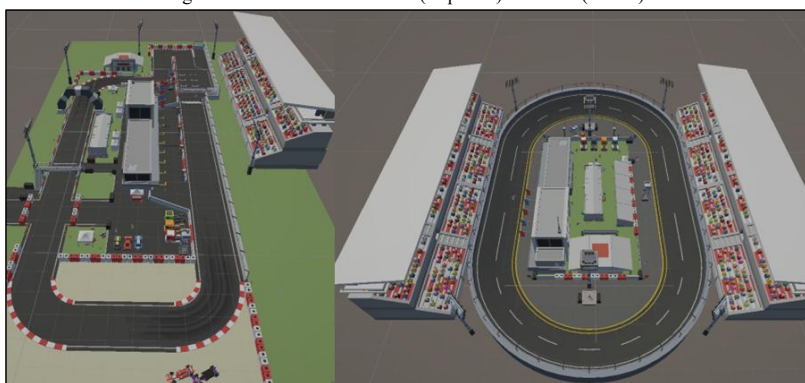
Antes de iniciar o simulador é recomendado estar posicionado diretamente em frente ao volante de maneira que os braços esticados segurem o volante com firmeza. Após selecionar uma cena deve-se alinhar o volante virtual como o real, para realizar esse ajuste coloque as mãos no controle e ao pressionar dos botões mapeamentos para isso mova o seu personagem virtualmente pelo ambiente até estar satisfeito com o posicionamento. Sempre existe a opção de reiniciar a fase com os botões R2 e L2 ou voltar ao menu principal com o botão Play Station.

Com essa parte inicial de setup feita encaixe o sinto utilizando as próprias mãos para pegá-lo e encaixá-lo, feito isso pressione o botão O do controle para ligar o carro. Certifique-se de pressionar a embreagem caso a marcha neutra não estiver engatada, se esse requisito não for atendido o carro irá morrer e será necessário ligar o carro novamente. Após ligar o carro colocar na primeira marcha com a embreagem pressionada e enquanto solta a embreagem deve-se pressionar o pedal de aceleração de maneira a não deixar o rpm abaixo de 500, se não o carro morre. Depois que o carro está rodando

pode-se trocar a marcha pressionando antes a embreagem para aumentar a velocidade do automóvel. O carro conta com um sistema de freio no seu pedal de freio, porém cuidado, se o r_{pm} diminuir muito o carro morre. O r_{pm} pode ser visto através de um velocímetro na frente do volante e a velocidade atual representada por km/h por um número junto ao velocímetro.

Todos os cenários dentro do simulador são telas em branco para se divertir e aprender mecânicas do carro e direção, o simulador não possui um sistema de pontuação, vitória e derrota. A Figura 2 mostra cenários do Synty Studios (2022) Fórmula 1 (esquerda) e Nascar (direita), onde o principal objetivo é manter o controle do automóvel em um ambiente mais restrito.

Figura 2 – Cenários: Fórmula 1 (esquerda) e Nascar (direita)



Fonte: elaborado por Synty Studios (2022).

A Figura 3 mostra o cenário do Synty Studios (2022) Off Road que já vêm com o modo pista de terra ligado e é um ambiente restrito, porém simples para que o usuário possa experimentar um cenário mais hostil na direção.

Figura 3 – Cenário Off Road



Fonte: elaborado por Synty Studios (2022).

A Figura 4 mostra o cenário Plano que é para testes gerais perfeito para acelerar com toda a velocidade, testar o modo terra ligado e pista escorregadia no máximo, experimentar curvas e comportamentos em altas velocidades para que se compreenda as suas instabilidades.

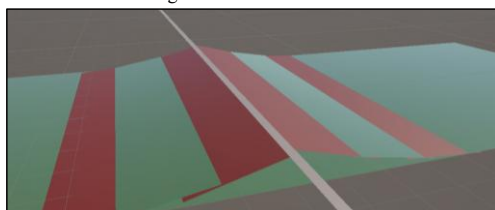
Figura 4 – Cenário Plano



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 5 mostra o cenário Morro, nele é possível testar a força do veículo e a diferença que alongar as marchas pode trazer para o automóvel nas situações de subida com o torque elevado e a descida com o freio a motor.

Figura 5 – Cenário Morro



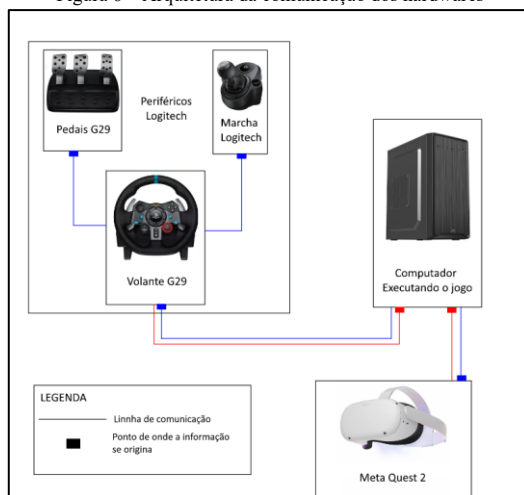
Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO

O simulador foi desenvolvido utilizando o Unity (6000.0.29f1) como motor de jogos, o Visual Studio Community 2022 (17.13.3) para o desenvolvimento dos scripts em C# e o Blender (4.4.3) para modelar ou ajustar objetos necessários. Além dessas, foram usadas ferramentas de comunicação entre os hardwares como o Meta Quest Link (78.0.0.817.310) para comunicar entre o computador e o Quest 2 e o Logitech G HUB (2025.4.719084) para comunicar entre o computador e os periféricos Logitech.

Para entender melhor o simulador e os desafios no seu desenvolvimento se faz necessário entender a arquitetura do projeto e como os hardwares estão se comunicando. Na Figura 6 é possível verificar os processos: a marcha e os pedais são conectados ao volante e esse recebe e envia dados ao computador através do software Logitech G HUB. O computador processa os dados, valida e realiza ações dentro do simulador. O computador renderiza imagens que são enviadas através do software Meta Quest Link ao Quest 2 que exibirá as imagens ao usuário. E por fim, o Quest 2 capturará os dados de posicionamento do usuário e das suas mãos e enviará para o computador que irá atualizá-las dentro do simulador. O Apêndice B mostra como essa estrutura foi montada na prática com o simulador funcionando.

Figura 6 – Arquitetura da comunicação dos hardwares



Fonte: elaborado pelo autor.

Para que a comunicação dos periféricos ocorra dentro do simulador, isto é, para que a Unity a realize, é necessário instalar uma *DLL* (Dynamic Link Library) no projeto, que é possibilita ler, executar comandos e modificar as variáveis dos periféricos sem precisar ficar reescrevendo código dentro do simulador. Essa biblioteca pode ser encontrada na Asset Store da Unity como Logitech Gaming SDK (2025), porém a biblioteca está com um erro interno e para resolver foi necessário seguir o tutorial presente no canal de Maximilian Senten (2022).

Diversos dados dos periféricos são recolhidos em todos os frames como mostra o Quadro 4. A marcha é usada para trocar de marcha dentro do simulador, tendo que partir da neutra quando o carro é ligado. Os pedais para obter os

dados de aceleração, embreagem e freio em tempo real. O volante sendo a parte mais complexa, além da rotação para rotacionar o volante virtual e mudar a direção das rodas no simulador, também é usado para realizar comandos de posicionamento do personagem e funções extras como ativar/desativar modos de direção e voltar ao menu.

Quadro 4 – Trecho de código responsável pela leitura dos dados dos periféricos Logitech

```
void AtualizarVariaveis()
{
    if (LogitechGSDK.LogiUpdate() && LogitechGSDK.LogiIsConnected(_INDEX_LOGI))
    {
        LogitechGSDK.LogiPlaySpringForce(_INDEX_LOGI, 0, 30, 60); // Aplicar força
        inputsLogi = LogitechGSDK.LogiGetStateUnity(_INDEX_LOGI);

        embreagem = 0;
        freio = 0;
        acelerador = 0;
        if (!ValidarBugInicio(inputsLogi))
        {
            embreagem = NormalizarDadoPedal(inputsLogi.rglSlider[0]);
            freio = NormalizarDadoPedal(inputsLogi.lRz);
            acelerador = NormalizarDadoPedal(inputsLogi.lY);
        }

        rotacaoVolanteAbsoluta = inputsLogi.lX;
        rotacaoVolanteAbsolutaNormalizado = rotacaoVolanteAbsoluta
        _MAXIMO_INPUT_VOLANTE;

        marchaNova = ObterMarchaAtual();
        CapturarValoresBotoesVolante();
    }
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados são lidos em valores numéricos de tamanho 2 Bytes cada, tendo um alcance de -32.768 a +32.767, os pedais tiveram suas entradas normalizadas, isto é, transformadas em um valor de 0 a 1 para facilitar seu uso nas funções do simulador. Além disso, os dados representam a situação atual, mas como a rotação de objetos no Unity funciona foi necessário a posição relativa do volante e não a absoluta como mostra o código do Quadro 5. Para a marcha, foi necessário criar uma variável que contém a marcha anterior para as validações de troca de marcha, e validar a ausência das outras marchas já que não existe um retorno de marcha neutra.

Quadro 5 – Trecho de código responsável pela atualização do volante virtual

```
[SerializeField] private float velocidadeGiroVolante = 1.34f;
private float rotacaoVolanteAnt = 0;
public void RotacionarVolante(float rotacaoVolanteAbsoluto)
{
    float qtdRotacaoRelativa = rotacaoVolanteAbsoluto - rotacaoVolanteAnt;
    if (qtdRotacaoRelativa != 0)
    {
        float valorRelativo = qtdRotacaoRelativa * velocidadeGiroVolante;
        Vector3 rotacao = transform.localEulerAngles;
        rotacao.y += (valorRelativo / 100);
        transform.localEulerAngles = rotacao;
        rotacaoVolanteAnt = rotacaoVolanteAbsoluto;
    }
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

O simulador possui uma grande variedade de modelos de cenários, pessoas, objetos e terrenos. A maior parte dos modelos foram fornecidos pela loja de assets da Unity a Asset Store como pode ser visto atrás do Quadro 6 que mostra a relação da origem de cada asset. O modelo do kart e rodas foram retrabalhados para atender as necessidades e o volante foi feito do zero para se adequar visualmente ao volante G29 da Logitech (Figura 7). Para que a rotação das rodas e do volante funcionassem corretamente é necessário que seus centros estejam localizados no ponto zero de seus modelos, se não, a roda não giraria em torno de seu próprio eixo.

Figura 7 – Volante sendo modelado no Blender



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 6 – Origem dos assests utilizados no projeto

Assest	Origem
Cenário Formula 1	Synty Studios (2022)
Cenário Nascar	Synty Studios (2022)
Cenário Off Road	Synty Studios (2022)
Cenário Plano	Autor
Cenário Morro	Autor
Volante	Autor
Kart	Synty Studios (2022)
Pneus kart	Autor
Velocímetro	Wabo (2018)
Conjunto cinto	Autor

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Apêndice D é mostrado o diagrama de classes *UML (Unified Modeling Language)* onde residem scripts com o objetivo de aproximar a sensação de dirigir um carro real dentro do ambiente virtual. Dentre eles poderia destacar o script do Quadro 7 que faz as principais funções do motor do veículo. Nele é calculado um r_{pm} alvo a partir de uma relação entre r_{pm} da roda e marcha engatada e o r_{pm} do motor sem as rodas, eles são aplicados dependendo do quanto se pressiona a embreagem. O alvo é aplicado a partir de uma função que aproxima o valor alvo do atual, sendo a embreagem a volatilidade dessa mudança, assim quanto mais embreagem mais rápido é a alteração. Ocorre uma validação de r_{pm} para parar o carro ou não, e é retornado o torque que o motor irá aplicar nas rodas baseado em um gráfico $r_{pm} \times$ torque, também dependendo de quanta embreagem está sendo pressionada. O Apêndice A retrata sobre o fluxo de dar partida no veículo, que seria um predecessor da rotina de cálculo do r_{pm} .

Quadro 7 – Trecho de código responsável por atualizar o rpm do motor e retornar o torque correspondente

```
private float FaseMotor()
{
    // Pegar Valor inverso do pedal da embreagem
    // Enquanto mais toca no pedal, menos deve considerar a rotação da roda
    float rpmMotorAlvoMotor = pedalEmbreagem *
motor.RpmAlvoMotorLivre(pedalAceleracao);
    float rpmMotorAlvoRodas = pedalEmbreagemInv * rpmRodas * motor.RelacaoMarcha();
    float rpmMotorAlvo = rpmMotorAlvoMotor + rpmMotorAlvoRodas;

    rpmMotorAlvo -= 30_000 * Time.deltaTime;

    // Se a embreagem estiver muito apertada a velocidade com que o motor aumenta
    as rotações aumenta também
    float impactoEmbreagem = (Mathf.Abs(pedalEmbreagem - 1) * 0.4f);
    float rpmMotorAtual = motor.CalcularRpmMotor(rpmMotorAlvo, 0.05f +
    impactoEmbreagem);

    // Se a rotação alvo for menos que a livre deve matar o carro!!!
    motor.ValidarSeRpmMuitoBaixo(rpmMotorAtual, pedalEmbreagem);

    //motor.ValidarVariacaoRpmMuitoAlta(rpmMotorAlvo, pedalEmbreagem);

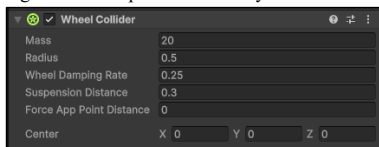
    float torqueTotal = motor.CalcularPotenciaMotor(Mathf.Max(0.1f,
    pedalAceleracao)) * pedalEmbreagemInv;

    return torqueTotal;
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

Para que as rodas funcionassem corretamente foi utilizado o componente Wheel Collider, este já aplica atrito, suspensão, força de freio, força de aceleração e peso giratório de maneiras satisfatórias para o simulador. A Figura 8 mostra a entrada das variáveis para as propriedades que geram esses efeitos.

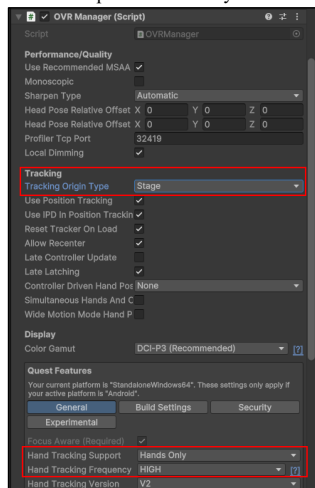
Figura 8 – Componente do Unity Wheel Colider



Fonte: elaborado pelo autor.

Para interagir com o Quest 2 se usou a biblioteca da Meta, Meta XR Interaction SDK, presente na Asset Store do Unity. Os componentes da Meta são complementares, adotando uma nomenclatura de *building blocks*. O *building block* para que o Quest 2 seja detectado e tenha sua posição no mundo virtual atualizada e possa interagir com o mundo virtual é o Camera Rig. Como demonstra a Figura 9, ele possui o componente OVR Manager que é configurado para ser um simulador estacionário, já que é um simulador o jogador fica sentado, e assim só precisa verificar as posições das mãos.

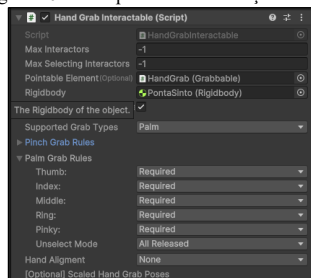
Figura 9 – Componente do Unity Wheel Collider



Fonte: elaborado pelo autor.

Já as mãos virtuais possuem em sua configuração o building block da Camera Rig. Todo o processamento é feito diretamente no Quest 2, as câmeras dele capturam e processam as imagens das mãos gerando suas posições e rotações tanto das mãos como dos dedos individualmente. Só é preciso colocar um componente que interaja com o Interactor VR da Meta e configurá-lo adequadamente. Nessas configurações é possível restringir uma interação para apenas se for segurado com um punho fechado ou apenas se pressionado com o indicador. Esse recurso foi utilizado para agarrar como todos os dedos o cinto no kart. A Figura 10 mostra esses componentes configurado.

Figura 10 – Componente de interação de mão



Fonte: elaborado pelo autor.

Para exibir mensagens no Quest 2 foi construído um objeto canvas que possui um objeto de painel com um texto dentro. O objeto é chamado passando uma mensagem qualquer pelo controlador da cena que também tem a função de voltar ao menu e recarregar a cena atual. A notificação é posicionada pegando a posição dos olhos do Quest 2 e se posicionando mais abaixo na visão por um tempo de 3 segundos.

O mapeamento do Quest 2 da posição do usuário pode falhar ao longo da jogatina, colocando o usuário um pouco mais para alguma direção. Para que esse problema seja minimizado foi colocado um remapeamento da posição do usuário no mundo virtual pelo volante Logitech, sendo possível se mover em todos os eixos x, y e z, além de mudar a rotação em x. Esse posicionamento pode ser visto no formulário de pesquisa do projeto, para que os usuários testados possam utilizar essa função quando necessário.

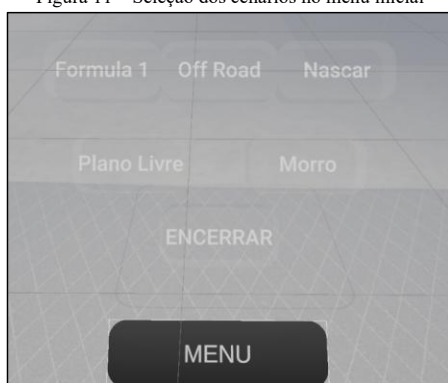
3.3 OPERACIONALIZAÇÃO

Para utilizar o simulador desenvolvido, o usuário deve configurar o ambiente físico, sentando-se frente ao volante real do conjunto Logitech G29. Os braços devem ficar estendidos de forma confortável enquanto segura o volante. A

marcha deve estar a direita logo ao lado do volante, devido a marcha ser grampeada a na borda de uma superfície plana. Os pés devem conseguir pisar nos pedais sem precisar se mover no assento.

No menu do jogo, é necessário escolher um cenário apertando com um botão dentre os cinco, cada botão indicando um destino. Os cenários disponíveis podem ser vistos nas Figuras 2-5 e podem ser selecionadas como mostra a Figura 11. O botão só é pressionado quando apenas o indicador está apontando enquanto o resto do se mantém em punho fechado.

Figura 11 – Seleção dos cenários no menu inicial



Após a escolha do cenário no menu inicial do simulador, o usuário é inserido dentro de um kart virtual no cenário. O primeiro passo necessário é alinhar o volante real com o volante virtual, utilizando os botões mapeados para ajuste de posição. Esse alinhamento é fundamental para garantir a fidelidade da interação com os controles físicos que podem ser vistos no apêndice C.

O segundo passo consiste em utilizar as mãos virtuais para interagir com os elementos do veículo. O usuário deve pegar o cinto de segurança com a mão fechando o punho completamente e encaixando-o no encaixe do cinto. Quando o cinto for preso, aparecerá uma mensagem, o botão "O" (círculo) do controle ficará habilitado para ativar o motor do veículo. Caso a marcha não esteja no neutro ou a embreagem esteja pressionada, o veículo "morre", apresentando a mensagem "Carro Morreu! RPM Ficou muito abaixo" e exigindo nova tentativa de ligar o motor.

A direção ocorre com o uso do volante, e a condução exige o controle simultâneo dos pedais de aceleração, freio e embreagem. As trocas de marcha devem ser realizadas com a embreagem pressionada, e o usuário pode monitorar o giro do motor rpm e a velocidade através do velocímetro na frente do volante. A ausência de pontuação ou objetivos diretos permite ao usuário explorar livremente os diferentes comportamentos do veículo em pistas variadas, como terreno plano, molhado, de terra ou inclinado.

Assim que o usuário se sentir satisfeito, poderá voltar ao menu inicial, entrar em outro cenário e recomeçar. Caso ocorram deslocamentos involuntários do Quest 2 é possível reposicionar-se com o mapeamento de botões. Diversas mensagens de alerta irão aparecer em momentos chave, colocar o cinto, carro ligado e carro morreu, para auxiliar no uso do simulador.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados testes nas funcionalidades do simulador (subseção 4.1), os resultados dos testes com usuários (subseção 4.2) e a comparação com trabalhos correlatos (subseção 4.3).

4.1 TESTES DE FUNCIONALIDADE

Os testes de funcionalidade foram sendo feitos à medida que as rotinas de código foram sendo implementadas, assim uma nova funcionalidade exigia um novo teste de contexto. Assim facilitando a percepção de como cada novo aspecto do simulador impacta o usuário e como ela interage com os outros sistemas já implementados, também auxiliando a identificação e correção de algum novo erro gerado com essa implementação.

Dessa maneira o simulador foi desenvolvido usando o ciclo de implementar, testar e revisar todos os passos seguidos de uma análise do código para manter a qualidade do código. Durante o desenvolvimento apareceram novos requisitos, tal como feedback tátil para terreno de terra e molhado (RF04 e RF05) e força G (RF11) para aumentar a sensação de realismo. Por outro lado, a aplicação completa das leis de trânsito e integração de distrações como uso de

celular e embriaguez foram retiradas do projeto. Essas decisões foram tomadas para manter uma ideia mais coesa entre todas as funções implementadas.

O projeto iniciou com o objetivo de usar apenas o Quest 2, porém conforme o avanço do projeto, foi pensado em utilizar os periféricos de volante, pedais e marchas para aumentar a imersão. A adição desses periféricos obrigou a mudança de alguns requisitos do simulador, deixando de lado a ideia de apenas ligar o Quest 2 e jogar. A ideia seria ligar os periféricos diretamente no Quest 2, porém como diz a própria Meta (2024) se referindo a essa possibilidade, “Gostariamos que você soubesse que essa não é hoje uma opção”. Essa informação obrigou a utilização de um computador como uma ponte de comunicação entre os dispositivos (como pode ser visto na Figura 6).

4.2 TESTES COM USUÁRIOS

Após o desenvolvimento do simulador, começou-se a mobilização para realizar os testes no laboratório LDTT na FURB. Porém, ocorreu um imprevisto onde o Quest 2 não consegue mapear as mãos reais da pessoa e passá-las para o ambiente virtual, impedindo interações com as mãos já no menu da Meta e no simulador desenvolvido. Esse problema foi testado e comprovado com dois dispositivos Quest 2, confirmando que o erro está no ambiente não no hardware utilizado. Para realizar os testes, o equipamento voltou para a minha residência e foram chamados 6 amigos para testar e recolher dados do simulador.

O Quadro 8 demonstra o perfil dos usuários, e menciona que todos os envolvidos já utilizaram pelo menos alguma vez um óculo de realidade virtual, e com 66% tendo utilizado em jogos com movimentação. Além disso 83% dos usuários têm Carteira Nacional de Habilitação (CNH) e dirige mais de 2 vezes por semana, o representa um público que dirige diariamente e está acostumado a dirigir.

Quadro 8 – Perfil dos usuários

Pergunta	Resposta	Quantidade
Idade	Tenho entre 16 à 20 anos	16,67%
	Tenho entre 21 à 25 anos	66,67%
	Tenho mais de 30 anos	16,66%
Possui CNH a quanto tempo?	Não possuo CNH	16,67%
	Mais de 3 anos	83,33%
Quantas vezes dirige por semana?	Não dirijo	16,67%
	De 3 a 5 vezes por semana	16,67%
	De 6 a 7 vezes por semana	66,66%
Já utilizou algum equipamento de realidade virtual? Ex.: Experiências em parques (alguns cinemas 7D) e exibições de alta imersão, jogos complexos ou vídeos em 360 graus.	Cinema em 360 graus (experiência passiva)	33,3%
	Jogos controlando a movimentação em realidade virtual	66,7%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os testes nos cenários (Figuras 2, 3 e 5) continuam instruções a serem realizadas pelos usuários que possuíam uma tarefa e um comentário cada. O Quadro 9 demonstra o cenário de Fórmula 1 (Figura 2a) que continha iniciar o carro na primeira marcha e direto na segunda, e ligar o modo de pista molhada. É visto pelos testes que iniciar o carro saindo da neutra diretamente para segunda marcha é mais difícil que pela primeira. Essa resposta veio da única pessoa que não possui CNH, logo é previsto que tenha mais dificuldade nos testes. Os comentários de direção indicaram que, na pista seca, o veículo apresenta respostas rápidas e sensíveis, enquanto na pista molhada foi percebida uma sensação de insegurança e menor controle.

Quadro 9 – Usabilidade cenário Fórmula 1

Pergunta	Resposta	Quantidade
Tente iniciar o carro na marcha neutra e depois mova para a primeira marcha segurando o pedal de embreagem e faça o carro andar	Sim	100,00%
Reinicie a cena e tente iniciar na marcha neutra e depois mova para a segunda marcha segurando o pedal de embreagem e faça o carro andar	Sim	83,33%
	Não	16,67%
Reinicie a cena e tente dar 1 volta no estádio, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim	100,00%

Comentado [DS1]: Não entendi. Não deveria iniciar no ponto morto (na posição neutra).

Reinicie a cena e habilite o modo de pista molhada e tente dar 3 voltas no estádio da maneira mais rápida possível, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim	100,00%
---	-----	---------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como demonstrado no Quadro 10 o cenário Nascar (Figura 2b) não possui grandes dificuldades na direção. Comentários mencionaram dificuldade ao iniciar o carro na parte mais externa da curva em relação a interna. Isso se deve a alta inclinação lateral e o pneu virado para iniciar o kart. As respostas como não nesse teste se deram a tontura de um usuário a partir desse ponto.

Quadro 10 – Usabilidade cenário Nascar

Pergunta	Resposta	Quantidade
Tente dar 1 volta no estádio, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim	100,00%
Pare na parte mais externa da curva e tente iniciar o carro desse ponto para fazer uma volta	Sim Não	83,33% 16,67%
Pare na parte mais interna da curva e tente iniciar o carro desse ponto para fazer uma volta	Sim Não	83,33% 16,67%
Reinicie a cena e habilite o modo de pista molhada e tente dar 3 voltas no estádio da maneira mais rápida possível, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 11 refere-se ao cenário Off Road (Figura 3), onde seu objetivo é completar voltas simples com e sem o modo de pista de terra. O teste tinha a intenção de isolar o comportamento em um ambiente mais desafiador, com o cenário mais imersivo. Os comentários dos testes mostraram efetividade em passar a sensação de arranque pesado, direção derrapando e tremendo como a realidade.

Quadro 11 – Usabilidade cenário Off Road

Pergunta	Resposta	Quantidade
Tente dar 1 volta no estádio, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim Não	83,33% 16,67%
Reinicie a cena e desabilite o modo pista de terra e tente dar 3 voltas no estádio da maneira mais rápida possível, se quiser marque o tempo e coloque ele abaixo na observação	Sim Não	83,33% 16,67%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 12 demonstra os resultados do cenário do Morro (Figura 5), seu objetivo é mostrar parte do realismo de subir e trocar a marcha em um morro. Os comentários e testes mostram como é mais difícil subir um morro do que andar em um ambiente plano. Dificuldade para trocar a marcha e iniciar o kart no meio do morro também mostram a similaridade com a dificuldade real.

Quadro 12 – Usabilidade cenário Morro

Pergunta	Resposta	Quantidade
Tente subir o morro apenas na primeira marcha em qual parte do morro você conseguiu chegar?	Cheguei apenas na primeira parte vermelha	16,67%
	Cheguei apenas na primeira parte verde	16,67%
	Subi o morro todo	66,66%
Reinicie a cena e tente subir o morro na segunda marcha em qual parte do morro você conseguiu chegar?	Cheguei apenas na primeira parte vermelha	16,67%
	Cheguei apenas na primeira parte verde	16,67%
	Cheguei apenas na segunda parte vermelha	16,66%
	Subi o morro todo	50,00%

Reinicie a cena e tente subir o morro na terceira marcha em qual parte do morro você conseguiu chegar?	Cheguei apenas na primeira parte vermelha Subi o morro todo	16,67% 83,33%
--	--	------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 13 demonstra respostas referentes a avaliação do simulador de modo geral (cenário Plano – Figura 4). É possível validar que o simulador não é muito difícil de ser utilizado com 66% dos usuários quase não precisando de nenhum auxílio. A grande maior parte dos auxílios se devem ao mapeamento dos botões no controle e propriamente a direção do veículo no caso do usuário sem CNH.

Fica evidente nos testes a dificuldade que pessoas não adaptadas a realidade virtual têm de utilizar o dispositivo por longos períodos devido a tontura extrema. A movimentação do kart principalmente em curvas rápidas ou em capotamento que ocorreram no cenário Morro (Figura 5), fizeram os usuários ficarem tontos impactando na experiência de 50% dos usuários. Esse também aparece nas observações do formulário e no usuário que não conseguiu completar os testes.

As respostas das perguntas referentes a mimetização de comportamentos reais como troca de marcha, terreno de terra e molhado mostraram um resultado muito satisfatório. Com 80% achando a experiência muito parecida com a de dirigir um carro. Respectivamente 100% e 80% dos usuários perceberam os riscos atrelados a dirigir em terrenos de terra e molhado. Comentários revelam que a pista molhada exagerou no efeito e o terreno de terra estava muito fraco em baixas velocidades, mostrando a necessidade de se ajustar essas variáveis.

Quadro 13 – Avaliação de modo geral

Pergunta	Resposta	Quantidade
Das atividades solicitadas, quantas atividades você conseguiu executar sem auxílio?	Todas	33,33%
	A maior parte	33,33%
	Menos da metade das tarefas	16,67%
	Nenhuma tarefa	16,67%
De modo geral, você achou o protótipo intuitivo e fácil de usar?	Sim	100,00%
Em uma escala de 1 a 5 onde 5 é muito e 1 é pouco, qual o nível de enjoo sentido ao decorrer da utilização?	1	33,33%
	2	16,67%
	4	16,67%
	5	33,33%
Se você considera que sabe dirigir com alguma proficiência, o quanto parecido com a experiência de dirigir um carro real você considera esse jogo?	Muito parecida	80,00%
	Parecida	20,00%
Se você considera que não sabe dirigir com alguma proficiência, esse jogo te ajudou a apresentar os conceitos de troca de marcha?	Sim	100,00%
Você acha que o modo de pista molhada te ajudou a perceber os riscos de dirigir em rápido em momentos de chuva?	Sim	100,00%
Você acha que o modo de pista de terra te ajudou a perceber a dificuldade de dirigir rápido em pistas com esse tipo de terreno?	Sim	83,33%
	Não	16,67%
Qual é a sua avaliação da aplicação?	Muito bom	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final do questionário tinha duas questões abertas sobre a avaliação geral da aplicação e sobre as maiores dificuldades ao utilizar o simulador. Foram mencionados bugs referentes ao carro morrer do nada quando freia, a maior dificuldade sendo o alto grau de enjoo e posicionamento da câmera problemático. Em relação ao posicionamento, esse é um erro típico de jogos em realidade virtual que afeta ainda mais no nosso caso, como o volante virtual e real devem estar alinhados entre si. A solução do reposicionamento pelos botões foi um acerto, mas deveria salvar a última definição colocada pelo usuário e levá-la para próxima cena, retirando a necessidade de refazer o posicionamento.

As respostas dos usuários demonstram que a aplicação recebeu uma boa avaliação geral, destacando a eficiência em apresentar diversos aspectos da direção de um veículo. Grande parte dos usuários tinham proficiência na direção

avaliaram a experiência como algum nível de realismo, demonstra o potencial de apresentação desses conceitos para novos condutores. O usuário demonstrou um grande aprendizado ao decorrer do teste, conseguindo dirigir com cada vez mais facilidade o veículo mesmo nunca dirigindo um na vida real.

4.3 COMPARAÇÃO COM TRABALHOS CORRELATOS

Os trabalhos de Buzzi (2018), Andriola (2021) e Masterton e Wilson (2023) exploram diferentes formas de aplicar a realidade virtual na educação para o trânsito. Buzzi (2018) desenvolveu um jogo educacional para o adolescente, com foco na aplicação de regras de trânsito por meio de interações visuais e textuais. Em contraste, o simulador deste trabalho inclui interações físicas com volante, pedais e câmbio, além do uso de realidade virtual imersiva, oferecendo uma experiência prática da direção com maior realismo e imersão.

Andriola (2021) concentra-se na mimetização entre a direção real e a virtual, utilizando uma rodovia real recriada em ambiente virtual para validar a simulação. Embora compartilhe o uso de simuladores imersivos, o simulador desenvolvido se diferencia ao incluir múltiplos cenários, condições adversas e feedback tátil nos periféricos. Tudo para engajar o usuário por meio de uma abordagem lúdica e educativa, impressionando condutores experientes e iniciantes.

Já Masterton e Wilson (2023) simula os efeitos do álcool na direção, utilizando atrasos e distorções visuais para promover conscientização sobre riscos. Mesmo o simulador desenvolvido não simulando efeitos de substâncias, são apresentadas condições adversas como, terreno de terra e escorregadio auxiliando o reconhecimento de riscos. Assim, o projeto integra elementos dos trabalhos correlatos e os expande com uma proposta prática e feedback tátil, aprendendo enquanto se diverte.

5 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos e comprovados com o questionário, o objetivo de implementar um simulador em realidade virtual com alta imersão para auxiliar no ensino de direção e trânsito foi atendido. O meio, a realidade virtual com os periféricos como volante, marcha e pedais de fato aumentaram a percepção de realismo nos cenários. A diversão foi apreciada pelos testadores que só pararam de testar o simulador devido a disponibilidade dos equipamentos para outros testarem. Os conceitos relacionados à condução veicular e às dificuldades práticas da direção foram assimilados pelos usuários com os diferentes cenários e atestado nas perguntas pelos condutores mais experientes. O usuário que não possui CNH demonstrou dificuldade inicial, especialmente na coordenação motora, mas conforme os testes foram acontecendo houve melhora na coordenação e direção.

O simulador foi aprovado como simulação entre quem tem experiência no ambiente real e trouxe aprendizado para quem desconhecia os conceitos. Para melhorar o simulador seria necessário colocar mais orientações ao longo dos cenários sinalizando como executar as ações para dirigir um carro partindo que o usuário não teria nenhum conhecimento prévio. O usuário sem CNH precisou de consideravelmente mais orientações do que os outros para dirigir o carro. Além disso colocar mais informações como mapeamento dos botões do volante de forma virtual para auxiliar no manejo das funções base.

As ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento como Unity se mostraram eficazes em suas tarefas para entrega do projeto. A Unity proporcionou bibliotecas para trabalhar com ambos os equipamentos com algum grau de documentação disponível na internet e no próprio código. Embora com problemas iniciais de adaptação e com bugs com a biblioteca da Meta para o Quest e com a biblioteca da Logitech para o volante, pedais e marcha, elas cumpriram seu papel sem falta. Os interactables da Meta foram essenciais para qualquer interação das mãos virtuais com os objetos, botões e cinto de segurança, além de mapear a mão real para a virtual de maneira satisfatória.

A proposta do simulador, que integra múltiplos equipamentos chama a atenção dos observadores. Tanto no período em que esteve no laboratório tanto em ambiente doméstico, o sistema despertou o interesse de jovens e adultos apenas observando o simulador montado. Durante a utilização, os usuários ficaram impressionados com a precisão das mãos virtuais interagindo com o volante e todos os equipamentos agindo e reagindo ao simulador. Esse efeito ajudará no papel pedagógico colocando curiosidade nas pessoas para romper a barreira de entrada e começar a ensinar.

Com o fim do desenvolvimento do trabalho foram identificados pontos de melhoria através de ideias que surgiram durante e após o desenvolvimento e realização dos testes com usuários. Esses pontos de extensão para futuros trabalhos incluem:

- a) implementar um sistema de pontos para beneficiar boas práticas e negatar mais práticas na direção;
- b) implementar gasto de combustível associado a maneira como o usuário dirige, melhorando ou piorando a economia do veículo;
- c) implementar freio de mão para que o usuário possa perceber e sentir a diferença entre freio do motor, freio do pneu e freio de mão;
- d) adicionar cenários com possibilidade de estacionar o veículo para que o usuário possa treinar baliza;
- e) implementar a sinalização de setas para auxiliar no aprendizado da direção do veículo;
- f) adicionar cenários noturnos com a função de faróis para que o usuário perceba seus usos no dia a dia;

- g) testar com mais pessoas para aumentar a gama de testes e absorver mais ideias de melhorias;
- h) implementar um painel completo de um veículo para dar alertas reais de um veículo através dele;
- i) adicionar som do motor aumentando a imersão e auxiliando o usuário a perceber mais nuances do veículo.

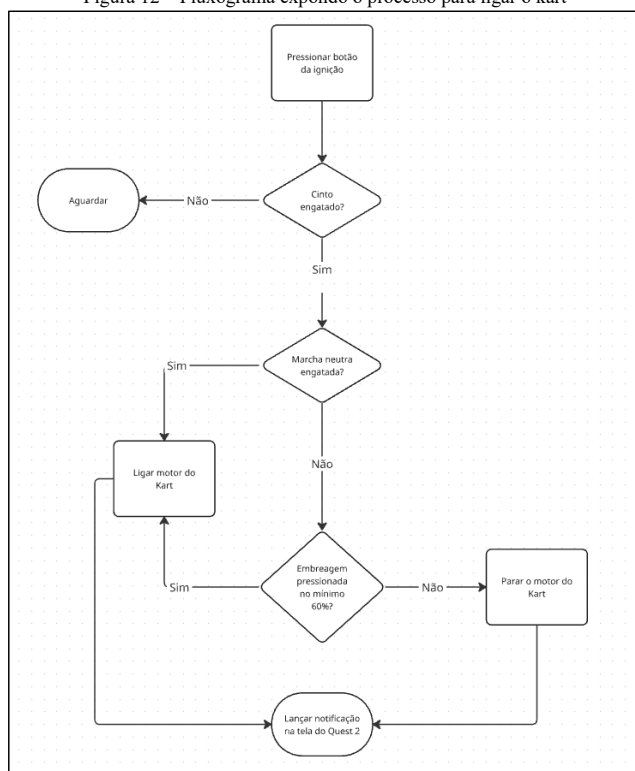
REFERÊNCIAS

- ABREU, Pedro Henrique Benevides de, **Games e educação: potência de aprendizagem em nativos digitais**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/1750>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- ANDRIOLA, César Luís, **Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo**. 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/221718/001125953.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- BUZZI, Alberto Buzzi, **Transitar – Jogo de conscientização sobre trânsito**. 2018. Disponível em: https://www.furb.br/dsc/arquivos/tccs/monografias/2018_2_thiago-alberto-buzzi_monografia.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.
- IBGE, **Frota de veículos**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- KOPFLER, Eric; OSTERWEIL, Scot; SALEN, Katie, **Moving learning games forward**, 2008. Disponível em: http://education.mit.edu/papers/MovingLearningGamesForward_EdArcade.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.
- LIMA, Ramalho, **Review Meta Oculus Quest 2 | Conheça o headset VR mais popular do mercado**. Canaltech. 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/outros-acessorios/analise/review-meta-oculus-quest-2-conheca-o-headset-vr-mais-popular-do-mercado/>. Acesso em: 8 maio 2024.
- LOGITECH GAMING SDK. **Program**, [2025]. Disponível em: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/logitech-gaming-sdk-6630>. Acesso em: 21 junho 2025.
- MASTERTON, Callum; WILSON, Andrew Sean, **A case study of a virtual reality-based drink driving educational tool**. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-17658-y>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- MAXIMILIAN SENTEN. **Logitech Gaming SDK Steeringwheel dll Fix for Unity**, [2022]. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=2PGa0DV_a08. Acesso em: 18 mar. 2025.
- META. **Logitech g29+oculus 3**, [2024]. Disponível em: <https://communityforums.atmeta.com/t5/Get-Help/Logitech-g29-oculus-3/td-p/1142468>. Acesso em: 29 maio. 2025.
- MILGRAM, Paul et al, **A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays**. 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays. Acesso em: 13 set 2024.
- OMS; ONU, **Plano global, década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030**. [2020]. Disponível em: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/health-topics/road-traffic-injuries/global-plan-for-the-doa-of-road-safety-2021-2030-pt.pdf?sfvrsn=65cf34c8_35&download=true. Acesso em: 23 abr. 2024.
- OMS, **Global status report on road safety**. 2023. Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/374868/9789240086456-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 de out. 2024.
- ONSV, **Relatório 2022**. 2022. https://www.onsv.org.br/source/files/originals/Relatorio_ONSV_2022_25.7_internet-089959.pdf. Acesso em: 16 mar. 2024.
- OPAS, **Medidas contra a direção sob influência do álcool: Por que elas são importantes?**. 2022. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56846/OPASNMHMH220038_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 abr. 2024.
- SLATER, Mel; WILBUR, Sylvia, **A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments**. 1997. Disponível em: <http://publicationslist.org/data/melslater/ref-232/pres5.pdf>. Acessado em: 23 abr. 2024. SYNTY STUDIOS. **Simple Racer - Cartoon Assets**, [2022]. Disponível em: <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vehicles/land/simple-racer-cartoon-assets-37490>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva, **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/view/66/291/540>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- WABO, **EZ Speedometer**, [2018]. Disponível em: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/ez-speedometer-9840>. Acesso em: 3 maio 2025.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA PARA LIGAR O KART

Esse apêndice consta a Figura 12, onde é demonstrado a o fluxograma do processo de ligar o kart pela chave de ignição dentro do simulador. O retângulo representa uma ação, os losangos são pontos de decisão do código e os retângulos com cantos arredondados são os pontos terminais.

Figura 12 – Fluxograma expondo o processo para ligar o kart



Fonte: elaborado pelo autor

APÊNDICE B – ESTRUTURA MONTADA DOS EQUIPAMENTOS

A Figura 13 demonstra o ambiente montado e usuários dos testes jogando o simulador. Na parte superior está figura do ambiente apenas com o equipamento preparado para receber os usuários, com os periféricos e o Quest 2. Na parte inferior estão dois usuários realizando os testes em cenários distintos dentro do simulador.

Figura 13 – Ambiente montado e sendo testado



Fonte: elaborado pelo autor

APÊNDICE C – MAPEAMENTO DOS BOTÕES NO VOLANTE

A Figura 14 demonstra em conjunto com o texto a seguir o mapeamento dos botões e suas funcionalidades dentro do simulador. Auxiliando a interpretação das funções do simulador e como o usuário pode ativar e desativá-las além de se reposicionar no mundo virtual.

Figura 14 – Mapeamento dos botões no volante



Fonte: elaborado pelo autor

Botões de Ação:

- 02 - Ligar o carro;
- 03 - Ligar/Desligar o modo pista de terra;
- 04 - Ligar/Desligar o modo pista molhada;
- 09 - Reiniciar a cena, um botão de reset;
- 10 - Reiniciar a cena, um botão de reset;
- 14 - Voltar para o menu.

Botões de Posicionamento:

- 05 - Mover para a direita;
- 06 - Mover para a trás;
- 07 - Mover para a esquerda;
- 08 - Mover para a frente;
- 11 - Girar em ângulo para direita/esquerda;
- 12 - Mover para cima;
- 13 - Mover para baixo.

A Figura 15 demonstra o diagrama *UML* das classes que correspondem as funções de rotação do motor, aceleração, freio a motor e posicionamento em realidade virtual.

[illegible]

Trabalho de Conclusão de Curso - Ano/Semestre: 2025/1