

ROTA VR: JOGO DE CONSCIENTIZAÇÃO NO TRÂNSITO UTILIZANDO A REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA

Guilherme Fibrantz, 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

gfibrantz@furb.br, dalton@furb.br

Resumo: Este artigo apresenta o processo de desenvolvimento de um jogo para o ensino da educação no trânsito com o emprego da realidade virtual imersiva. O jogo foi desenvolvido para dispositivos móveis utilizando o motor de jogos Unity e a linguagem de programação C#. A metodologia envolve a criação de cenários virtuais diversos, testes com usuários e a aplicação da realidade virtual para uma experiência imersiva. Os resultados obtidos indicam uma resposta positiva dos usuários, sugerindo a eficácia do jogo na conscientização sobre a segurança no trânsito. No entanto, ressalta-se a importância de continuar desenvolvendo e aprimorando o jogo. Isso inclui a expansão dos cenários e desafios, aprimoramento das instruções e interface do usuário, além da introdução de novas funcionalidades. O jogo desenvolvido alcançou seu objetivo principal, sendo possível oferecer uma experiência de aprendizado sobre a conscientização no trânsito mais interativa e divertida para os usuários.

Palavras-chave: Realidade virtual. Trânsito. Jogo. Educação no trânsito.

1 INTRODUÇÃO

O trânsito é um tema de grande importância na sociedade contemporânea. O movimento de veículos e pedestres nas vias públicas é um fator que impacta diversos aspectos da vida urbana, seja de maneira direta ou indireta. Conforme indicado por Miranda (2016), a educação para o trânsito desempenha um papel fundamental na redução dos conflitos envolvendo pedestres, passageiros e condutores de veículos. Além disso, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (2021), os óbitos e os ferimentos resultantes de acidentes de trânsito representam uma das maiores ameaças ao progresso sustentável das nações. “Em todo o mundo, os sinistros de trânsito causam aproximadamente 1,3 milhão de mortes evitáveis e cerca de 50 milhões de feridos por ano – tornando-os a principal causa de mortes de crianças e jovens em todo o mundo.” (Organização Mundial da Saúde, 2021, p. 6).

Uma das estratégias mais eficazes de modificar esta situação é a mudança do comportamento dos cidadãos, influenciando no processo de segurança de todos. Conforme Miranda (2016), a maneira como os cidadãos se comportam no trânsito tem um impacto direto na segurança de todos os envolvidos. Nesse sentido, é fundamental que as pessoas tenham uma base ética e moral sólida, embora muitas vezes esses valores não sejam devidamente cultivados no ambiente familiar. Portanto, no contexto escolar, torna-se essencial a construção de princípios fundamentais para uma vida tanto individual quanto coletiva (Miranda, 2016).

O caso do Brasil não é diferente. Como assinalado por Araujo Junior (2019), no cenário nacional lamentavelmente se evidencia a ideia de observar as normas de trânsito apenas para evitar multas. Por isso, é preciso implementar ações educativas positivas, sendo fundamental buscar um trânsito em que os condutores estejam plenamente conscientes da importância de obedecer às normas de trânsito, reconhecendo os benefícios positivos dessa atitude (Araujo Junior, 2019).

Diversas abordagens podem ser utilizadas para incluir a educação no trânsito em sala de aula, dentre as quais figuram em destaque os jogos digitais. Conforme indicado por Prensky (2001), os jogos não são o único caminho para melhorar o contexto educacional. Porém, os jogos eletrônicos são um dos elementos necessários para instigar as novas gerações a se interessarem pelos temas abordados em sala de aula. A possibilidade de interagir em um ambiente lúdico, controlar as situações vivenciadas, bem como a perspectiva de avançar para níveis mais altos conforme seu desempenho, é capaz de gerar motivação no aluno por meio dos jogos eletrônicos (Silva *et al.*, 2014).

A fim de aprimorar a experiência do usuário e estimular sua interação, é possível empregar tecnologias que melhoram a interface entre o usuário e o sistema, como a Realidade Virtual (RV). Segundo Braga (2001), a realidade virtual oferece a possibilidade de experimentar situações perigosas e difíceis, muitas vezes não sendo possíveis de serem vivenciadas, além de permitir que sejam abordados temas que apresentam desafios de aprendizagem e que podem ser impossíveis de serem demonstrados na vida real. Conforme Tori, Hounsell e Kirner (2020), a sensação de imersão em ambientes virtuais e a capacidade de interagir com seus detalhes resultam em um aumento significativo do interesse dos alunos pelo conteúdo, além de promover uma melhoria em seu processo de aprendizagem.

Diante desse contexto, o presente trabalho desenvolveu um jogo para o ensino da educação no trânsito com o emprego da realidade virtual imersiva, na qual os indivíduos são incentivados a agir de maneira responsável e a adotar comportamentos conscientes e seguros. O objetivo principal deste trabalho é de disponibilizar um jogo para dispositivos móveis que utiliza a realidade virtual imersiva para o ensino da conscientização no trânsito. Os objetivos específicos são: disponibilizar uma forma alternativa de mostrar conteúdos relacionados à educação no trânsito; realizar testes piloto para avaliar a experiência dos usuários com o jogo e disponibilizar diferentes cenários virtuais de trânsito, cada um apresentando desafios distintos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção é dedicada a expor bases e conceitos dos tópicos essenciais para apoiar o jogo desenvolvido. A subseção 2.1 destina-se a comentar sobre a educação no trânsito. A subseção 2.2 busca fundamentar os jogos educativos. Na subseção 2.3, são abordados conceitos de Realidade Virtual. Por fim, a subseção 2.4 irá apresentar os trabalhos correlatos.

2.1 EDUCAÇÃO NO TRÂNSITO

É evidente que o trânsito é um elemento constante em nossas vidas; contudo, a relevância atribuída a essa questão frequentemente não é destacada. Relatos sobre acidentes de trânsito são comuns na televisão e há uma percepção de aumento no número de vítimas fatais. Apesar disso, pouco parece mudar em termos de ações ou políticas para abordar essa situação (Silva, 2017). “A insegurança no trânsito é um problema mundial crescente e alarmante. Ainda que muitos países se esforcem para reduzir a quantidade de acidentes, eles são hoje uma das maiores causas de óbitos no mundo, tirando a vida de mais de 1,3 milhão de pessoas por ano.” (Ambev; Falconi; Onsv, 2014, p. 11).

De acordo com Miranda (2016), é fundamental que o comportamento do cidadão no trânsito seja adequado, pois isso influencia diretamente na segurança de todos. Segundo Miranda (2016), para garantir a harmonia nesse contexto, é necessário que as pessoas tenham formação ética e moral, sendo o ambiente escolar um local significativo, no qual surgem princípios importantes para a vida individual e coletiva. Como comenta Silva (2017), um aspecto notável é a forte conexão entre as escolas e as comunidades em que estão situadas. O conhecimento obtido na escola frequentemente se estende além dos estudantes, alcançando suas famílias, vizinhos e, em muitos casos, se difundindo por toda a comunidade à qual pertencem (Silva, 2017).

Segundo Bonfim *et al.* (2017), é fundamental investir na educação para o trânsito desde a infância, pois isso proporciona ao indivíduo o conhecimento necessário para agir com autonomia, contribuindo assim para a melhoria da qualidade do trânsito na sociedade em que está inserido. Para Nascimento (2021, p. 73), “[...] a sala de aula é uma ferramenta importante e, essencial, para a formação de cidadãos aptos a conviver em uma época de descontrole populacional relacionado a um trânsito de carros e pessoas cada vez mais denso, principalmente, nas grandes metrópoles”.

2.2 JOGOS EDUCATIVOS

A utilização de jogos digitais na aprendizagem possui um grande potencial, como citado por Carvalho (2018), que comenta que jogos educacionais têm o potencial de ampliar as oportunidades de aprendizagem, ao mesmo tempo em que contribuem para a construção da autoconfiança e estimulam a motivação no contexto educacional. Segundo Falkembach (2006), os jogos educacionais adotam uma abordagem pedagógica que valoriza a exploração livre e o aspecto lúdico, o que estimula o aprendizado do jogador. Falkembach (2006) comenta que além disso, os jogos são capazes de contribuir para a construção da autoconfiança e aumentar a motivação no contexto da aprendizagem.

De acordo com Carvalho (2018), é importante considerar dois aspectos essenciais ao criar um jogo educacional: a capacidade de transmitir a mensagem educativa de maneira eficiente e satisfatória, ou seja, ensinar de fato e a capacidade de tornar a atividade atraente e prazerosa, o que é conhecido como fator entretenimento. Carvalho (2018) aponta que quando esses dois fatores são alcançados, o jogo pode ser uma ferramenta eficaz para a aprendizagem e cumprir o seu papel com sucesso. Conforme Silva *et al.* (2014), na abordagem de jogos digitais educativos, é importante adaptar os conceitos que tornam os jogos populares bem-sucedidos, integrando-os ao processo educativo para aproveitar seu potencial de engajamento e aprendizado.

2.3 REALIDADE VIRTUAL

De acordo com Kirner e Kirner (2011, p. 14), a “[...] realidade virtual é uma interface computacional que permite ao usuário interagir em tempo real, em um espaço tridimensional gerado por computador, usando seus sentidos, através de dispositivos especiais”. Além disso, como indica Roussou (2004), a RV em geral, é amplamente utilizada nas áreas de educação e treinamento devido às suas potencialidades estimulando a interação e motivação. Bowman e McMahan (2007, p. 36, tradução nossa) definem as tecnologias de RV como “[...] tecnologias complexas que [substituem] informações sensoriais do mundo real por estímulos sintéticos, como imagens visuais 3D, sons espaciais ou força ou feedback tátil”.

Tori, Hounsell e Kirner (2020) comentam que é notável que a RV possui um vasto potencial de aplicações, pois permite a imersão em uma ampla variedade de experiências do mundo real, além de possibilitar a criação de cenários

imaginários, tudo isso a um custo acessível e sem riscos significativos. Como apresentado por Tori, Hounsell e Kirner (2020), a expansão do uso de aplicativos em smartphones tem desencadeado uma revolução na maneira como interagimos com a tecnologia, especialmente no campo da visualização 3D. Com o advento de dispositivos como os Cardboards, tornou-se possível experimentar realidades imersivas e visualizações tridimensionais de maneira acessível e conveniente, usando apenas o celular.

Equipamentos de realidade virtual mais avançados do que o Cardboard, como o Gear VR, ambos exemplificados na Figura 1, incorporam funcionalidades adicionais que enriquecem a experiência do usuário. Estes dispositivos são equipados com botões específicos que facilitam a navegação e interação com o ambiente virtual. Além disso, alguns modelos vêm acompanhados de um controle remoto, proporcionando uma experiência de interação mais confortável e intuitiva para os usuários. (Tori; Hounsell; Kirner, 2020).

Figura 1 – Equipamentos de realidade virtual



Fonte: Tori, Hounsell e Kirner (2020, p. 101).

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

A seguir, são expostos estudos relacionados que tratam de temas de RV no âmbito da educação para o trânsito. O primeiro, mostrado no Quadro 1, é um jogo educacional denominado Induca, que busca promover e facilitar o aprendizado sobre segurança no trânsito para crianças nos primeiros anos do ensino fundamental (Santana; Tronto; Sousa, 2018). O segundo trabalho, desenvolvido por Zeuwts *et al.* (2023) e detalhado no Quadro 2, tem como principal objetivo testar a eficácia de uma nova ferramenta de realidade virtual para promover a segurança no ciclismo para crianças. Por último, o Quadro 3 apresenta o trabalho de Santos *et al.* (2019), um jogo 2D que aborda conceitos referentes ao trânsito, visando a atuação do jogador no trânsito incluindo várias regras e condições que eles experimentarão na prática.

O trabalho de Santana, Tronto e Sousa (2018) foca no desenvolvimento de um jogo educativo para ensinar sobre o trânsito. Projetado para ser interativo e envolvente, o jogo utiliza o motor de jogos Unity e busca melhorar a consciência sobre segurança no trânsito e incentivar comportamentos responsáveis em motoristas e pedestres. Este trabalho atende à crescente demanda por maior foco na educação sobre trânsito no contexto educacional escolar.

Quadro 1 – Trabalho Correlato 1

Referência	Santana, Tronto e Sousa (2018).
Objetivos	Criar um jogo que objetiva entender as funções e sinais no trânsito, aprender a se comportar no carro e seguir as leis de trânsito e perceber a importância de ser responsável e gentil ao dirigir. Para isso, o jogador precisa superar todos os desafios e obstáculos presentes no cenário.
Principais funcionalidades	O jogador encontra diferentes missões espalhadas pela cidade em um ambiente tridimensional, que envolvem elementos como faixas de pedestres, motoristas, semáforos e leis de trânsito. O jogo utiliza o teclado e mouse para movimentação, oferecendo uma jogabilidade interativa e envolvente, além de um sistema de pontuação que penaliza o jogador por infrações de trânsito e recompensas por comportamentos corretos. Além disso, é dividido em diferentes fases, cada uma abordando um aspecto específico da educação no trânsito.
Ferramentas de desenvolvimento	Foi utilizada o motor de jogos Unity e a ferramenta CorelDraw para a criação das imagens bidimensionais.
Resultados e conclusões	Os autores comentam que a educação sobre trânsito, embora tenha uma relevância significativa, continua sendo um tópico que recebe pouca atenção no contexto escolar. Os autores observaram que processo de criação de um jogo se difere da criação de um software convencional, visto que antes de começar o desenvolvimento de um jogo, é essencial ter uma documentação clara e ideias bem estruturadas sobre os objetivos e métodos a serem empregados. Apesar de não ter sido testado na rede de escolas, os autores apontaram que o jogo pode usado como um recurso valioso no processo de aprendizagem.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O estudo de Zeuwts *et al.* (2023) apresenta um teste de RV para jovens ciclistas, usando o motor de jogos Unity e rastreamento ocular. Com 130 estudantes participantes, o projeto une realidade virtual e um simulador de ciclismo, oferecendo uma abordagem inovadora para a educação em segurança no ciclismo infantil. A experiência de RV é enriquecida com o óculos HTC Vive e rastreamento ocular da Pupil Labs, além do uso de uma bicicleta em quadro estacionário que permite avaliações detalhadas do comportamento dos ciclistas. O ambiente de execução dos testes pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Ambiente de teste composto pela bicicleta e óculos com complemento ocular utilizado



Fonte: Zeuwts *et al.* (2023, p. 4).

Quadro 2 – Using an immersive virtual reality bicycle simulator to evaluate hazard detection and anticipation of overt and covert traffic situations in young bicyclists

Referência	Zeuwts <i>et al.</i> (2023)
Objetivos	Desenvolver um teste de antecipação de perigos em VR interativo e imersivo, realizado em um simulador de ciclismo, incluindo uma variedade de perigos típicos enfrentados por jovens ciclistas. O teste permite a avaliação de movimentos oculares e comportamento dos ciclistas.
Principais funcionalidades	Utiliza tecnologia de rastreamento ocular para entender para onde os ciclistas olhavam e como detectavam perigos, combinado a realidade virtual para ciclistas, oferecendo um ambiente tridimensional realista. O estudo também contou com uma bicicleta montada em quadro estacionário, com a roda traseira ligada a um volante que permite medir a velocidade de pedalada, a cadência, a frenagem e o ângulo de direção dos ciclistas.
Ferramentas de desenvolvimento	Foi utilizado o motor de jogos Unity
Resultados e conclusões	O estudo contou com a participação de 130 estudantes com média de 11 anos de idade, que já sabiam andar de bicicleta. Nos resultados, os cálculos de correlação do estudo revelaram que os participantes que pedalaram mais rápido pelo ambiente virtual pontuaram mais alto (pior) para erros e violações, além de mostrar um comportamento menos protetor em comparação com as crianças que pedalaram mais lentamente. Por fim, concluem que simuladores de RV são ferramentas úteis e realistas para documentar habilidades de antecipação de perigos em ciclistas jovens. Além disso, oferece uma base para o desenvolvimento de programas de treinamento interativos e envolventes para promover a segurança no ciclismo infantil.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O estudo de Santos *et al.* (2019) introduz o jogo Educação na Faixa, uma ferramenta educativa em 2D para ensinar a educação no trânsito de maneira lúdica e interativa. Desenvolvido com a plataforma Construct 3, o jogo visa facilitar o ensino do trânsito nas escolas e foi validado por estudantes de informática, destacando a importância de alinhar usabilidade e conteúdo pedagógico em ferramentas educativas digitais.

Quadro 3 – Educação na Faixa: um Jogo 2D para o Ensino da Educação Para o Trânsito

Referência	Santos <i>et al.</i> (2019)
Objetivos	Criar um jogo 2D destinado a ensinar conceitos de educação para o trânsito de forma lúdica e interativa. Os autores buscam superar a dificuldade que os professores têm em abordar a temática do trânsito nas escolas, oferecendo uma ferramenta que facilita este processo educativo, além da proposta de validação com um grupo de estudantes de informática, avaliando aspectos de usabilidade e eficácia pedagógica, para identificar áreas de melhoria.

Principais funcionalidades	O jogo apresenta um cenário 2D, no qual os jogadores devem guiar um carro por ruas e enfrentam diversos desafios relacionados ao trânsito, como semáforos, placas e faixas de pedestres. O jogo possui a capacidade de oferecer feedback imediato: quando as regras do trânsito são desrespeitadas, o jogo reinicia com orientações adicionais, reforçando os conceitos aprendidos. Possui fases que evoluem em complexidade e conteúdo pedagógico integrado, além de possuir elementos como moedas e tempo, animações e efeitos sonoros, presentes na maioria dos jogos atuais.
Ferramentas de desenvolvimento	Construct 3, uma plataforma de desenvolvimento que facilita a criação de jogos específicos, eliminando a necessidade de programação complexa.
Resultados e conclusões	A validação com estudantes de um curso de informática revelou que o jogo é de fácil compreensão e confirmou seu alinhamento com as diretrizes pedagógicas, incluindo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). No entanto, identificou-se a necessidade de melhorias, especialmente em termos de motivação e engajamento dos estudantes. Alguns aspectos, como a quantidade de texto e a mecânica de repetição de fases, foram apontados como áreas a serem aprimoradas. Além disso, a plataforma Construct 3 mostrou-se eficiente para o desenvolvimento de jogos educacionais.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

3 DESCRIÇÃO DO JOGO

Esta seção visa apresentar detalhes sobre o desenvolvimento do jogo, incluindo as técnicas e ferramentas empregadas. Ela se divide em duas partes: a subseção 3.1, que expõe a especificação do jogo e a subseção 3.2, que enfoca nos aspectos principais da implementação e tecnologias utilizadas.

3.1 ESPECIFICAÇÃO

Para descrever as funções do jogo, são expostos os Requisitos Funcionais (RF) no Quadro 4 e os Requisitos Não Funcionais (RNF) no Quadro 5.

Quadro 4 – Requisitos Funcionais

RF01: O jogo deve permitir que o usuário possa se movimentar pelo ambiente virtual
RF02: O jogo deve permitir que o usuário veja na tela o feedback sobre o seu desempenho, informando sobre erros cometidos
RF03: O jogo deve incluir cenários variados de trânsito para aumentar a exposição do usuário a diferentes situações de risco
RF04: O jogo deve permitir que o usuário interaja com elementos do ambiente
RF05: O jogo deve possuir um sistema de tráfego no qual veículos e outros pedestres se movem de forma autônoma
RF06: O jogo deve ser projetado para que o usuário vivencie a experiência por meio de uma visão em primeira pessoa

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quadro 5 – Requisitos Não Funcionais

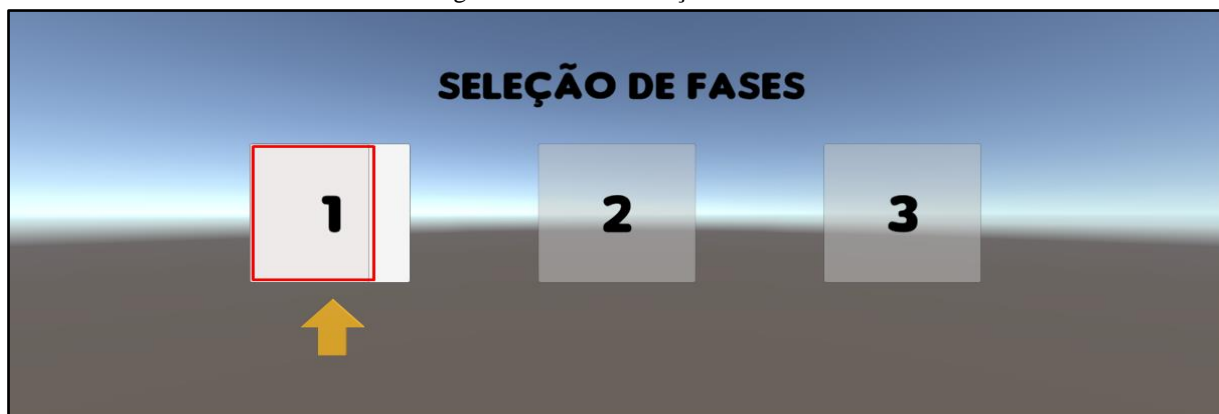
RNF01: O jogo deve ser desenvolvido para plataforma Android e iOS
RNF02: O jogo deve utilizar o motor de jogos Unity
RNF03: O jogo deve utilizar controle bluetooth para movimentação do jogador no cenário
RNF04: O jogo deve utilizar a linguagem C# para o desenvolvimento

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O jogo desenvolvido posiciona o jogador no papel de um pedestre em um ambiente tridimensional, composto por um total de três fases distintas. Ele inclui um menu de seleção de fases que facilita a transição entre elas, permitindo ao jogador escolher e navegar pelas diferentes fases do jogo, com a lógica de funcionamento exemplificada no Apêndice A. Inicialmente, são verificadas as fases desbloqueadas, ativando botões interativos correspondentes. Na cena, toques no botão dos óculos de realidade virtual são monitorados. Se um botão interativo for pressionado pelo tempo necessário, a fase correspondente é carregada; caso contrário, a seleção muda para a próxima fase. Setas indicativas na tela mostram a fase selecionada e uma mensagem de ajuda surge se o usuário ficar inativo.

Para iniciar uma fase do jogo, o usuário, na cena de seleção de fases, toca no botão dos óculos RV para escolher uma fase. Depois, mantém o botão pressionado até que o indicador, mostrado na Figura 3, carregue completamente, iniciando a fase escolhida.

Figura 3 – Tela de seleção de fases



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A concepção inicial das fases do jogo partiu de uma conversa com dois especialistas, sendo o policial rodoviário federal Melati (2023) e da professora de Jornalismo da FURB Pereira (2023), ambos integrantes do projeto de extensão da FURB denominado “Te Orienta no Trânsito”, sendo um projeto que visa educar e sensibilizar a população sobre questões de trânsito através de diferentes mídias.

Para o desenvolvimento do projeto foram escolhidos três cenários (no caso, as fases do jogo): o cenário no qual o jogador deve se atentar a atravessar a rua em duas faixas de pedestres distintas, denominada *FaixaPedestre*; o cenário denominado *Patinete*, no qual o jogador deve se atentar a procedimentos seguros relacionados a este meio de locomoção; e o cenário *Acidente*, em que o jogador é colocado em uma situação que deve seguir os procedimentos seguros em uma situação de acidente de trânsito. Cada fase do jogo inicia com uma *cutscene* que proporciona uma visão panorâmica e oferece uma breve contextualização do cenário, preparando o jogador para a ambientação e os desafios que virão a seguir. Após a *cutscene*, o jogador poderá se movimentar e observar o cenário ao redor, já que ele está em um ambiente de RV.

No cenário *FaixaPedestre*, o jogador assume a perspectiva de um pedestre e tem como objetivo alcançar um local determinado para completar a fase. Ao longo do trajeto, é essencial manter a atenção em práticas de segurança e consciência no trânsito. Isso inclui ficar alerta a veículos que possam cruzar a calçada e adotar medidas adequadas para atravessar a rua com segurança, utilizando corretamente a faixa de pedestres. Nesta fase, o usuário tem liberdade de movimento até alcançar um ponto no qual um carro cruza a calçada. Neste momento, o movimento do jogador é bloqueado e um alerta é exibido na tela, destacando a importância de estar atento a veículos que podem invadir a calçada, enfatizando a necessidade de vigilância constante no trânsito. Depois que o veículo se afasta, o movimento do jogador é novamente liberado, levando-o até um cruzamento que possui uma faixa de pedestres e um semáforo específico para pedestres. Neste ponto, o jogador deve observar o botão do semáforo e pressioná-lo utilizando o botão correspondente no controle Bluetooth, conforme é indicado na tela. Após isso, é necessário aguardar até que o semáforo fique verde para, então, atravessar a rua com segurança. O Apêndice B demonstra a sequência de passos da cena da faixa de pedestres.

Quando o jogador executa uma ação inadequada, o jogo apresenta uma mensagem explicativa na tela, como pode ser visto na Figura 4. Isso ajuda os jogadores a entenderem as repercussões de suas escolhas e promove um aprendizado mais eficaz sobre segurança no trânsito.

Figura 4 – Mensagem explicativa



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após atravessar o primeiro cruzamento, o jogador encontra outra faixa de pedestres. Neste ponto, é essencial que ele olhe para ambos os lados da rua antes de atravessar, garantindo assim a própria segurança e reforçando a importância de estar atento ao trânsito, mesmo em áreas designadas para pedestres. Para orientar o usuário de forma clara, textos explicativos são exibidos na tela, como pode ser visto na Figura 5, detalhando as ações necessárias e guiando o usuário a cada passo do processo.

Figura 5 – Indicadores na tela



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No cenário *Patinete*, o jogador tem a oportunidade de conduzir um patinete em um cenário virtual, enfatizando a importância de práticas seguras e conscientes no trânsito, tal como na fase anterior. É fundamental que o jogador atente para aspectos cruciais como a utilização do capacete e a manutenção de uma velocidade adequada durante o percurso. Para começar, o jogador precisa subir no patinete, mas seu movimento no mesmo só é liberado após colocar o capacete e desligar a música, enfatizando a importância de estar atento ao ambiente. O jogador deve utilizar o controle bluetooth para aceleração e movimentação do patinete. Ao longo da rota, a velocidade do patinete não deve exceder 20 km/h na ciclovia e o jogo fornecerá alertas caso o jogador ultrapasse esse limite, reforçando a necessidade de cautela e observância das regras de trânsito. A sequência de ações desta cena é demonstrada no Apêndice C. Além da movimentação, em todas as ações e interações neste cenário, o mesmo controle bluetooth é utilizado, como pode ser visto na Figura 6, visando oferecer uma experiência de jogo mais intuitiva.

Figura 6 – Indicador de ação

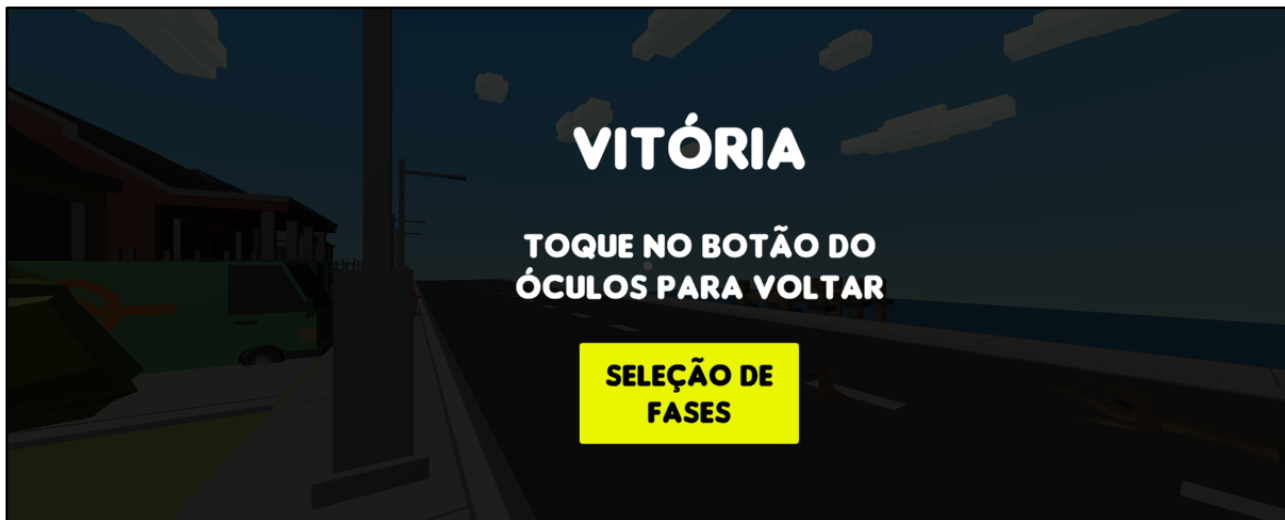


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

No cenário *Acidente*, o jogador é colocado em uma simulação de emergência em que ocorre um acidente. O objetivo é gerenciar a situação com responsabilidade e presteza. Inicialmente, o jogador deve instruir os pedestres próximos a se afastarem para um local seguro, garantindo a segurança de todos. Posteriormente, é essencial sinalizar a área do acidente, como por exemplo, usando um galho, para evitar outros incidentes. O passo crucial é ligar para o serviço de emergência, discando 193. Com a chegada da ambulância, a fase se encerra, destacando a importância de ações rápidas e eficazes em emergências. A sequência de ações desta fase pode ser visualizada no Apêndice D.

Ao concluir cada fase do jogo e atingir o objetivo estabelecido, a tela de vitória, como ilustrada na Figura 7, é exibida. Neste momento, o jogador deve pressionar o botão do óculos de RV para prosseguir. Após isto, o jogador é levado para a tela de seleção de fases, na qual a próxima fase, imediatamente após a que foi completada, é desbloqueada e se torna acessível para ser jogada. Com isto, é possível ter uma progressão das fases, proporcionando um sentido de realização e motivação para avançar para os próximos desafios.

Figura 7 – Tela de vitória



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

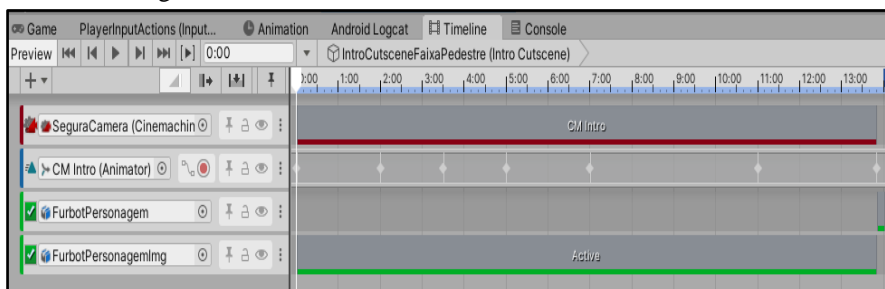
3.2 IMPLEMENTAÇÃO

O desenvolvimento do jogo foi realizado utilizando o motor de jogos Unity, especificamente a versão 2022.3.5f1. Além disso, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Community 2022 na versão 17.6.5, que é disponibilizado de maneira gratuita. Para a utilização da realidade virtual imersiva foi utilizado o plug-in XR do Google Cardboard para Unity. Ele suporta recursos essenciais de RV, tais como: rastreamento de movimento; renderização estereoscópica e interação do usuário através do botão do visualizador (Google Developers, 2023).

Os cenários do jogo foram criados com uma variedade de modelos, incluindo construções, personagens e plantas. Os modelos foram adquiridos da Asset Store oferecido pela Unity, proporcionando uma ampla gama de recursos para enriquecer o ambiente do jogo. Outros modelos necessários foram desenvolvidos por Son (2023), que é aluno de Design e bolsista do Laboratório de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia (LDTT) do Departamento de Sistemas e Computação da FURB. As *cutscenes* foram criadas utilizando duas ferramentas fornecidas pela Unity: Timeline e Cinemachine.

A Timeline é uma ferramenta fornecida pelo Unity para a elaboração de sequências de eventos (Unity Technologies, 2020a). Com ela, é possível mover clipes no tempo, ajustar quando começam e determinar como se combinam e interagem com outros clipes na sequência. Conforme Unity Technologies (2020b) a Cinemachine torna simples e eficiente configurar e animar câmeras, sem a necessidade de escrever código. Utilizando câmeras virtuais geridas pelo Cinemachine Brain, que se integra à câmera principal no Unity, os usuários podem animar e mesclar estas câmeras virtuais de diversas formas. Quando usados em conjunto, o Timeline e a Cinemachine permitem a sincronização de animações de câmera com outros elementos da cena, como animações de personagens e efeitos sonoros e visuais. Como exemplificado na Timeline da Figura 8, é possível observar que o estado de dois GameObjects com o nome FurbotPersonagemImg e FurbotPersonagem foram manipulados, ao mesmo tempo em que foi feita a animação da câmera através da Cinemachine CM Intro.

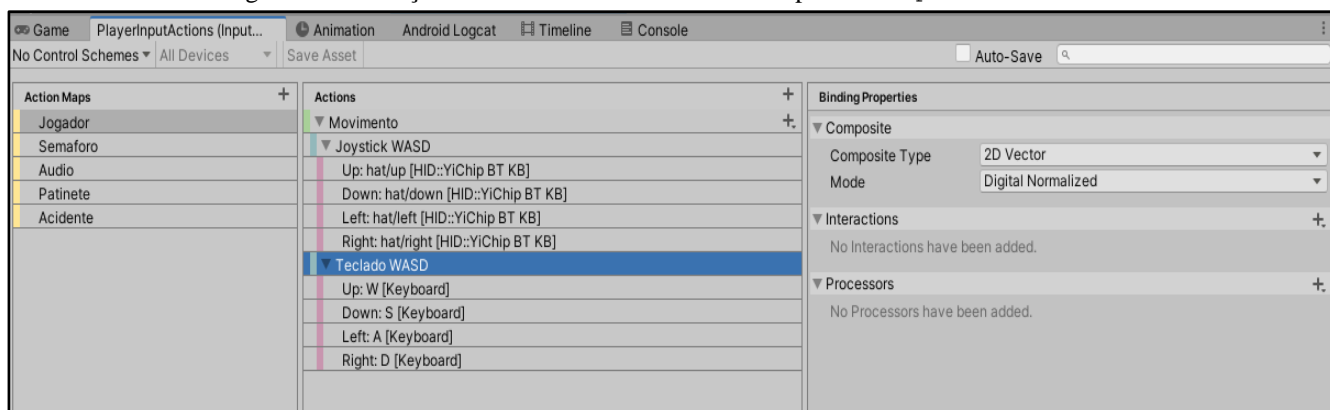
Figura 8 – Cutscene utilizando Timeline e Cinemachine



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para a movimentação do personagem, foi utilizado o novo sistema de entradas da Unity, disponível a partir da instalação de um pacote disponibilizado de maneira gratuita pela própria Unity, chamado de Input System. Inicialmente, deve ser adicionado o componente `PlayerInput` a um `GameObject` desejado. Para que o componente possa processar entradas (como comandos de teclado, mouse ou *gamepad*), ele precisa estar vinculado a um conjunto de Input Actions. A partir do `PlayerInput` é possível criar este Asset com um conjunto pré-preenchido com ações padrão. A partir dele é possível definir como as entradas dos dispositivos são interpretadas e transformadas em ações dentro do jogo. Com isso, foi possível editar todos os métodos de entrada e botões necessários para o jogo, como visto na Figura 9, na qual é possível visualizar as ações para a movimentação e interações do patinete.

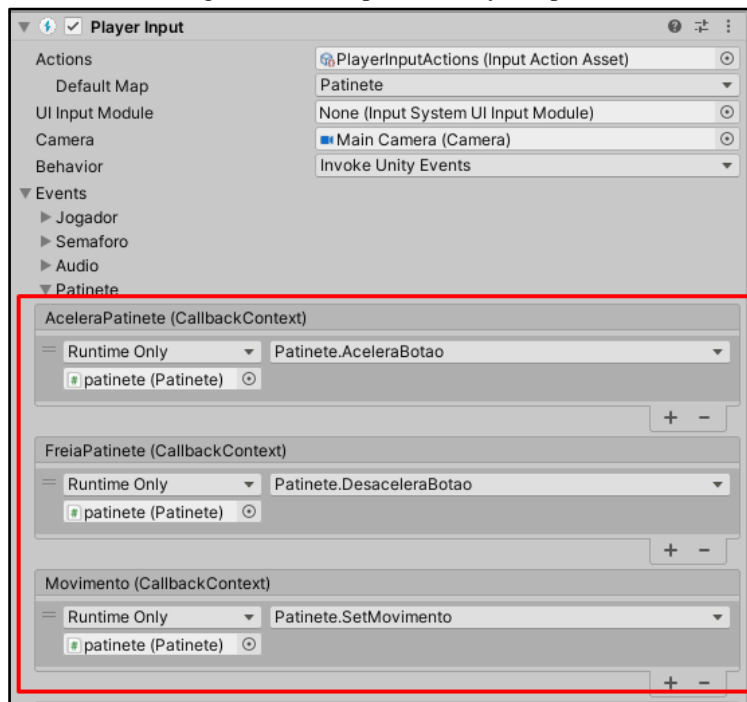
Figura 9 – Definição das entradas necessárias no componente Input Actions



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Uma vez que o componente tenha suas ações definidas, é necessário configurar uma resposta para cada ação. O `PlayerInput` permite estabelecer respostas de diversas maneiras, utilizando a propriedade `Behaviour` na janela do Inspector. Conforme representado na Figura 10, a opção utilizada foi a `Invoke Unity Events`, que, para cada ação ligada ao componente, faz com que o Unity exiba um evento correspondente. Essa funcionalidade permite a associação direta de um método específico a cada um desses eventos. Cada método aceita um argumento do tipo `InputAction.CallbackContext`, que permite acessar o controle responsável por iniciar a ação e o valor associado a essa ação.

Figura 10 – Componente Player Input



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Cada ação pode passar por várias fases distintas em resposta a uma entrada, incluindo *started*, *performed* e *canceled*. No Quadro 6, observa-se o método de movimentação do personagem no *script* personagem, chamado de *SetMovimento*, que emprega as condições *started* e *canceled*. *Started*, na linha 8, indica que uma interação com a ação foi iniciada, como, o botão de movimentação sendo pressionado, enquanto *canceled*, na linha 13, sinaliza que a interação foi encerrada, ou seja, o usuário soltou o botão.

Quadro 6 – Código do método que recebe a entrada de movimentação do personagem

```
1 public void SetMovimento(InputAction.CallbackContext value)
2 {
3     if (!podeMover)
4     {
5         return;
6     }
7
8     if (value.started)
9     {
10        movimentouPersonagem = true;
11    }
12
13    else if (value.canceled)
14    {
15        movimentouPersonagem = false;
16    }
17
18    movimentoControle = value.ReadValue<Vector2>();
19 }
```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A movimentação do personagem é efetuada a partir do método *Update* no *script* *Personagem*. Ele começa lendo as entradas do usuário (movimento horizontal e vertical do controle) armazenando nas variáveis *horInput* e *verInput* (linhas 1 e 2), e utiliza a orientação da câmera principal para determinar as direções de movimento relativas (linhas 4 a 7). A rotação do personagem é ajustada para coincidir com a da câmera, sendo bloqueada no eixo X, nas linhas 10 a 16, já que o personagem não deve rotacionar no eixo vertical. O movimento é calculado combinando as direções para frente e lateral, com um ajuste na velocidade lateral (linhas 18 a 22). A direção de movimento de um personagem é calculada combinando dois vetores: *camFrenteRelativa* e *camDireitaRelativa*, na linha 24. Estes vetores representam, respectivamente, as direções para frente e para a direita com base na orientação atual da câmera e são ponderados pelas entradas do usuário. Ao somá-los, o vetor resultante, *moveDir*, indica a direção diagonal em que o personagem deve se mover, efetuando o movimento em relação à orientação da câmera e não apenas em relação ao mundo do jogo.

Isso significa que, independentemente de para qual lado o personagem está virado inicialmente, ao mover-se para frente, ele se deslocará na direção para onde a câmera está apontando. Por fim, o vetor de movimento é aplicado ao personagem, na linha 28, usando o método *Move* do *NavMeshAgent*, multiplicado por *Time.deltaTime*, garantindo fluidez independente da taxa de quadros e pela variável *velocidade*, que define a velocidade do personagem. Permitindo assim um deslocamento responsivo do personagem no ambiente de jogo baseado nos comandos do usuário. O Quadro 7 demonstra o trecho de código responsável pela movimentação do personagem.

Quadro 7 – Trecho de código responsável movimentação do personagem

```
1 horInput = movimentoControle.x;
2 verInput = movimentoControle.y;
3
4 Vector3 camFrente = cameraPrincipal.forward;
5 Vector3 camDireita = cameraPrincipal.right;
6
7 Quaternion cameraRotacao = cameraPrincipal.rotation;
8
9 // bloqueia rotacao no eixo x
10 Quaternion novaRotacao = Quaternion.Euler(0f, cameraRotacao.eulerAngles.y,
11 cameraRotacao.eulerAngles.z);
12
13 this.transform.rotation = novaRotacao;
14
15 camFrente.y = 0;
16 camDireita.y = 0;
17
18 Vector3 camFrenteRelativa = verInput * camFrente.normalized;
19 Vector3 camDireitaRelativa = horInput * camDireita.normalized;
20
21 float multiplicaMovimentacaoLateral = 2.0f;
22 camDireitaRelativa *= multiplicaMovimentacaoLateral;
23
24 Vector3 moveDir = (camFrenteRelativa + camDireitaRelativa);
25
26 movimentoPersonagem = new Vector3(moveDir.x, velocidadeY, moveDir.z);
27
28 navMeshAgent.Move(movimentoPersonagem * Time.deltaTime * velocidade);
```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para gerenciar as áreas de movimentação dos agentes do jogo, foi empregado o componente NavMesh da Unity. Foram utilizados os componentes NavMeshSurface, NavMeshAgent e NavMeshModifier do Unity. O NavMeshSurface atua como o componente responsável por delinear as áreas de circulação disponíveis para diferentes tipos de agentes. Na cena FaixaPedestre, por exemplo, foram empregados três NavMeshSurfaces distintos: um para a movimentação do personagem, outro para a circulação dos veículos e um terceiro destinado aos pedestres. Para associar os agentes a cada NavMeshSurface específico, adiciona-se a esses objetos um componente do tipo NavMeshAgent. Isso permite, ao gerar o NavMesh, delimitar as áreas de circulação permitidas para cada tipo de agente. A Figura 11 ilustra a área azul que representa o NavMesh utilizado para os pedestres, restringindo suas áreas de movimentação somente às calçadas do cenário.

Figura 11 – Navmesh dos pedestres



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Além disso, empregou-se o componente NavMeshModifier, que possibilita a personalização do comportamento de um GameObject durante a geração do NavMesh. Com ele, é possível, por exemplo, selecionar e excluir certos obstáculos para agentes específicos ou remover GameObjects específicos do processo de construção do

NavMesh. Isto foi empregado na lógica da faixa de pedestres, na qual o `GameObject` `faixa_pedestre` recebeu o componente `NavMeshModifier` e através da propriedade `Override Area`, a área foi definida como `Not Walkable`, que permite excluir a faixa do processo de construção do NavMesh para os agentes `Personagem` e `NPC`.

Nesse contexto, o componente é ativado quando o semáforo para pedestres está vermelho e desativado quando está verde. Isso significa que o NavMesh é atualizado em tempo real, nas linhas 16 a 20, permitindo a travessia na faixa de pedestres apenas quando o semáforo para pedestres está verde. O Quadro 8 exemplifica o código utilizado no *script* `ControlaSemaforo` para atualização para o sinal verde e reconstrução do NavMesh.

Quadro 8 – Trecho de código responsável pela alteração do semáforo

```
1 IEnumerator SinalVerde()
2 {
3     //espera antes de ficar verde
4     yield return new WaitForSeconds(8f);
5
6     sinalVerde.GetComponent<MeshRenderer>().SetMaterials(materialsVerde);
7     sinalVermelho.GetComponent<MeshRenderer>().SetMaterials(materialsPreto);
8
9     faixaPedestre.GetComponent<NavMeshModifier>().enabled = false;
10    ReconstruirNavmesh();
11    //fica verde depois vermelho novamente
12    yield return new WaitForSeconds(duracaoVerde);
13    SinalVermelho();
14 }
15
16 private void ReconstruirNavmesh()
17 {
18     navMeshPersonagem.UpdateNavMesh(navMeshPersonagem.navMeshData);
19     navMeshCarro.UpdateNavMesh(navMeshCarro.navMeshData);
20 }
```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O movimento dos Non-Player Characters (NPCs), incluindo pedestres e veículos, foi implementado através de um *script* denominado `MovimentaNPC`. Para isso, foi estabelecido uma série de pontos de referência na cena, os quais foram integrados ao código do *script*. Esses pontos de referência foram dispostos no ambiente do jogo utilizando `GameObjects` nomeados como `Waypoint`, seguidos de um índice numérico para sua identificação.

No *script* `MovimentaNPC`, o método `Update` é utilizado para controlar a movimentação dos NPCs no jogo. A cada *frame*, ele calcula a distância do NPC até seu ponto de referência atual. Se o NPC estiver suficientemente próximo do ponto de referência, o *script* atualiza para o próximo ponto de referência ou retorna ao primeiro se todos os pontos de referência já foram visitados. Para alguns agentes, como `Van` ou `Carro`, o *script* desativa o `NavMeshAgent` e o próprio `GameObject` após atingir o último ponto de referência. Além disso, para NPCs identificados como carros, realiza-se uma verificação adicional de colisão à frente do veículo. O *script* também ajusta as animações do NPC com base em sua velocidade de movimentação e, finalmente, se o NPC estiver habilitado para se mover (`podeAndar`), seu destino é atualizado para a posição do ponto de referência seguinte, guiando-o automaticamente pelo cenário do jogo a partir do método `SetDestination` do `NavMeshAgent`.

Devido a necessidade da interação ao observar `GameObjects` específicos, como o botão do semáforo, foi utilizado o *script* `CardboardReticlePointer`, fornecido pelo plug-in Google Cardboard XR. No método `Update` deste *script*, um raio de colisão é emitido a partir da câmera para detectar se algum `GameObject` está sendo focalizado. Quando um `GameObject` é identificado, na linha 3, o *script* utiliza o método `SendMessage` para interagir com ele. `SendMessage` é uma função que permite a comunicação entre diferentes *scripts* e componentes de um `GameObject`. Utilizando esse método, a função `OnPointerEnter` é invocada. Portanto, qualquer *script* associado ao `GameObject` focado que contenha o *script* que contenha o método `OnPointerEnter` é acionado, permitindo uma resposta adequada a essa interação. O método `OnPointerEnter` foi implementado em um *script* chamado de `ObjetoGenerico`, por conta de ser necessário esta mesma lógica em diferentes `GameObjects`. O *script* deve ser associado ao `GameObject` desejado e assim que o `GameObject` é focalizado pela câmera na cena, o método `OnPointerEnter` é chamado devido ao método `SendMessage` descrito acima. O Quadro 9 demonstra como o método `OnPointerEnter` é utilizado para diferentes `GameObjects`.

Quadro 9 – Código do método OnPointerEnter

```

1 public void OnPointerEnter()
2 {
3     string nomeObjeto = this.gameObject.name;
4
5     switch (nomeObjeto)
6     {
7         case "LadoEsquerdo" when alerta.mostrouAlertaOlharDoisLados:
8             alerta.MostrarAlerta("Esquerda");
9             personagem.olhouEsquerda = true;
10            break;
11         case "LadoDireito" when alerta.mostrouAlertaOlharDoisLados:
12             alerta.MostrarAlerta("Direita");
13             personagem.olhouDireita = true;
14            break;
15         case "Botao":
16             alerta.MostrarAlerta("Botao");
17            break;
18         case "Capacete" when patinete.subiuPatinete:
19             patinete.olhouCapacete = true;
20             alerta.MostrarAlerta("ColocarCapacete");
21            break;
22         default:
23            break;
24     }
25 }

```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para orientar os jogadores sobre como realizar ações no jogo e prover feedback sobre acertos e erros através de informações na tela, foi implementado o *script* Alerta. O método *MostrarAlerta* no *script* Alerta é uma função responsável por exibir mensagens de alerta no jogo, de acordo com diferentes situações e eventos. O Quadro 10 demonstra um trecho de código do método *MostrarAlerta*. O método recebe uma *string* *alerta* como parâmetro, na linha 1, que especifica o tipo de alerta a ser mostrado. Dentro do método, há uma estrutura *switch* que verifica o valor de *alerta* e executa diferentes blocos de código baseados nesse valor. Cada caso dentro da estrutura *switch* configura uma mensagem específica a ser exibida para o jogador. Por exemplo, na linha 16, se o *alerta* for *Capacete* uma mensagem específica será definida (linha 17). Por fim, o *GameObject* *mensagemAlerta*, que contém o texto a ser exibido, é ativado (linha 18). Este *GameObject* é filho do *Canvas* e assim que ativado, exibe a mensagem definida na tela.

Quadro 10 – Trecho de código do método *MostrarAlerta*

```

1 public void MostrarAlerta(string alerta)
2 {
3     texto.fontSize = 40;
4     switch (alerta)
5     {
6         case "Botao" when estaFrenteBotao:
7             textoBotaoSemaforo.SetActive(true);
8             podeAcionarBotao = true;
9             break;
10        case "Faixa":
11            alertaVisivel = true;
12            texto.text = "Nunca atravesse a faixa sem olhar para os dois lados!";
13            mostrouAlertaOlharDoisLados = true;
14            mensagemAlerta.SetActive(true);
15            break;
16        case "Capacete":
17            texto.text = "Sempre coloque o capacete ao andar de patinete!";
18            mensagemAlerta.SetActive(true);
19            break;

```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O *Canvas* na Unity é essencial para a User Interface (UI), atuando como a área na qual todos os elementos de UI, como imagens e botões, devem ser posicionados. Esses elementos devem ser filhos de um *Canvas* para serem renderizados e interativos. Se não houver um *Canvas* na cena ao criar um elemento de UI, a Unity cria um automaticamente. Há dois tipos principais de *Canvas*: *Screen Space*, que cobre a tela inteira e *World Space*, que situa a UI no espaço tridimensional do jogo (Unity Technologies, 2023). Para este projeto, foi escolhido o modo *Screen*

Space - Camera, no qual o Canvas é posicionado a uma distância específica de uma câmera selecionada. Isso permite que os elementos da UI sejam projetados na tela conforme a posição e orientação da câmera. O Canvas ajusta seu tamanho e escala automaticamente com mudanças na resolução da tela ou no campo de visão da câmera. Assim, é adequado para ambientes que utilizam a RV, já que a UI adapta-se dinamicamente ao campo de visão da câmera RV, mantendo proporção e legibilidade, garantindo que os alertas estejam sempre visíveis no campo de visão do usuário, no caso deste jogo, centralizados na tela.

4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os testes de funcionalidades do jogo (4.1), os resultados dos testes realizados com usuários (4.2) e um comparativo com os trabalhos correlatos (4.3).

4.1 TESTES DE FUNCIONALIDADE

Durante o desenvolvimento do jogo, testes frequentes foram conduzidos para assegurar a conformidade das funcionalidades com as expectativas e para detectar eventuais erros. Esses testes também visavam identificar potenciais dificuldades que os usuários poderiam encontrar ao jogar, permitindo corrigir e prevenir potenciais falhas.

A criação do jogo seguiu um processo iterativo, envolvendo a refatoração contínua do código para se adaptar as novas funcionalidades propostas. As funcionalidades foram inicialmente desenvolvidas de forma modular, como a interação com o óculos de Realidade Virtual (RV), movimentação do personagem, uso de NavMesh, entre outras, para posteriormente serem integradas nas fases finais do jogo. A fim de garantir a eficiência dessas funcionalidades em todas as etapas do jogo, foram realizados testes frequentes e regulares. Os testes foram realizados tanto no emulador do Unity, quanto em um dispositivo Android e focaram em como os usuários interagiriam com o aplicativo.

Foi identificado que o ajuste do óculos de realidade virtual requer alta precisão, tanto nas lentes de profundidade quanto de lateralidade, para evitar que a imagem apresente bordas indesejadas ou fique desfocada. Independente da regulagem, notou-se que manter as lentes muito próximas resultava na sobreposição das imagens, causando desfoque, enquanto afastá-las demais gerava pequenas bordas, comprometendo parte da tela do jogo. Por conta disto, as interfaces do jogo foram posicionadas exatamente no centro da tela, como visto na Figura 12.

Figura 12 – Visualização da tela do jogo antes do celular ser inserido no óculos



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Durante os testes, identificou-se uma limitação no controle bluetooth para o jogo: o analógico e botões não apresentavam uma resposta gradual ao serem movidos ou pressionados. Consequentemente, não foi possível realizar movimentos parciais no analógico e botões; a resposta era sempre total ou nenhuma. Para o movimento do personagem, não houve tanto impacto, visto que sua velocidade é constante - pressionar o analógico faz o personagem se mover e soltá-lo faz com que pare. No entanto, na condição do patinete, a velocidade deve ser progressiva, então foi utilizada outra abordagem, na qual a velocidade era aumentada ou decrementada a cada toque em um botão específico.

4.2 TESTES COM USUÁRIOS

Após a fase de desenvolvimento, nove usuários participaram de testes realizados no LDTT da FURB. Uma vez que todos os participantes concluíram os testes, pediu-se que preenchessem um formulário. Os participantes do estudo preencheram a primeira seção do questionário, que se concentra no levantamento do perfil dos usuários. Como demonstrado no Quadro 11, a distribuição de idade entre os participantes é bem equilibrada. Todos os envolvidos, incluindo alunos e professores de graduação na área de tecnologia, usam dispositivos móveis regularmente e têm experiência com a realidade virtual. Isso reflete o perfil tecnológico dos participantes. Em relação à educação sobre trânsito, uma questão do tipo múltipla escolha revelou que 44,4% dos participantes (quatro indivíduos) tiveram treinamento ou educação em trânsito somente em autoescolas, enquanto dois participantes não tiveram qualquer tipo de formação ou treinamento nesse campo. Este dado sugere uma deficiência no ensino de educação para o trânsito nas instituições educacionais.

Quadro 11 – Perfil dos usuários

Pergunta	Resposta	Quantidade
Idade	Menos de 20 anos	22.22%
	Entre 20 e 24 anos	55.56%
	Mais de 24 anos	22.22%
Você utiliza dispositivos móveis com qual frequência?	Frequentemente	100%
Indique seu grau de familiaridade com a Realidade Virtual	Já utilizei	100%
Você já recebeu algum tipo de treinamento ou educação relacionada ao trânsito?	Sim, recebi formação formal em uma autoescola	66.7%
	Sim, em aulas de educação para o trânsito na escola/faculdade	33.3%
	Não, nunca recebi formação formal sobre o trânsito	22,2%

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O Quadro 12 apresenta informações sobre como os participantes experienciaram a usabilidade do jogo, destacando aspectos de sua interação e entendimento da tecnologia envolvida. Todos os participantes relataram conseguir usar os óculos de realidade virtual com facilidade, um indicativo de que a tecnologia é de fácil utilização para este grupo. Quando se trata de entender como selecionar e carregar as fases do jogo, a maioria, cerca de 77,8%, afirmou ter compreendido o processo, embora um segmento de 22,2% tenha encontrado dificuldades. Em relação à usabilidade de usar o controle para movimentar o personagem e interagir com o cenário, como por exemplo acionar o botão do semáforo, 88,9% dos participantes tiveram sucesso, evidenciando uma boa capacidade de adaptação à interface e usabilidade do jogo. No entanto, uma pequena parcela, 11,1%, não teve a mesma facilidade.

Notou-se que, embora 66,7% dos usuários tenham considerado as instruções para navegar e interagir no ambiente virtual claras e fáceis de entender, um grupo de 22,2% não as achou intuitivas e 11,1% optaram por não ler ou não conseguiram ler as instruções. Isso indica que embora a maior parte dos usuários tenha se adaptado bem ao ambiente virtual, ainda são necessárias melhorias na maneira como as instruções do jogo são apresentadas. Todos os participantes foram capazes de compreender os erros cometidos com base nos alertas na tela, o que aponta para uma eficácia na comunicação de feedback dentro do jogo. Finalmente, a capacidade de completar níveis do jogo foi alta, com 88,9% dos participantes alcançando esse objetivo, mas ainda assim, 11,1% não conseguiram completar nenhum nível, indicando que, apesar do sucesso geral, ainda há obstáculos para alguns jogadores. Os resultados refletem um balanceamento entre a facilidade de uso e os desafios apresentados na experiência de realidade virtual, indicando áreas que necessitam de melhorias para otimizar a jogabilidade.

A última pergunta desta seção foi aberta, para que participantes pudessem compartilhar suas observações, críticas ou sugestões sobre as ações e interações dentro do jogo. Alguns participantes sugeriram melhorias nas instruções iniciais, como na seleção de fases e no controle do jogo. Um comentário foi sobre a seleção de fases, no qual foi sugerido um fundo mais atraente visualmente, além de precisar pressionar o botão por muito tempo para selecionar a fase. Outro ponto levantado foi a descoberta intuitiva de que o personagem não atravessava fora da faixa de pedestres, indicando que essa mecânica do jogo não estava explicitamente clara. Outro comentário foi sobre as instruções fornecidas, que foram descritas como muito rápidas e a sugestão foi a possibilidade de retomar as instruções. Por fim, embora tenham considerado boas as explicações para usar os botões do óculos e do controle, houve uma sugestão para tornar essas interações mais intuitivas. Essas respostas destacam áreas específicas de melhoria no design e na mecânica do jogo, fornecendo *insights* valiosos para aprimorar a experiência dos usuários.

Quadro 12 – Usabilidade do jogo

Pergunta	Resposta	Quantidade
Você conseguiu utilizar o óculos de Realidade Virtual com facilidade?	Sim	100%

Você conseguiu entender como selecionar e carregar as fases do jogo?	Entendi Não entendi	77,8% 22,2%
Você conseguiu entender como utilizar o controle para movimentar o personagem?	Entendi Não entendi	88,9% 11,1%
Você conseguiu utilizar o controle para as interações no cenário? (EX: o botão do semáforo)	Sim Não	88,9% 11,1%
As instruções para navegar e interagir no ambiente de trânsito virtual foram claras e fáceis de entender?	Achei intuitivo Não achei intuitivo Não li as instruções	66,7% 22,2% 11,1%
Você entendeu os erros que cometeu com base nos alertas exibidos na tela?	Entendi	100%
Você conseguiu completar algum nível do jogo?	Todos Nenhum	88,9% 11,1%

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Os resultados do Quadro 13 representam as avaliações dos participantes sobre o jogo RotaVR e sua eficácia na conscientização no trânsito. A maioria dos participantes avaliou positivamente a experiência geral, com 66,7% atribuindo notas 4 e 22,2% dando nota 5. Os cenários foram considerados muito adequados por 88,9% dos participantes. Quanto à experiência ser intuitiva, 88,9% acharam o jogo intuitivo (notas 4 e 5). Todos os participantes acharam a ideia de usar um jogo para conscientização no trânsito interessante. Quanto ao objetivo do jogo, 88,9% concordaram plenamente que ele ajudou no aprendizado sobre conscientização no trânsito. Isso demonstra uma avaliação geral positiva do jogo além de seu potencial educacional.

Quadro 13 – Avaliação do jogo

Pergunta	Respostas	Quantidade
Como você avaliaria sua experiência com o jogo em geral (escala 1[péssima] a 5[excelente])?	3 [escala] 4 [escala] 5 [escala]	11,1% 66,7% 22,2%
Você achou que os cenários do jogo foram apropriados e relevantes para o tema do trânsito (escala 1[inadequado] a 5[muito adequado])?	4 [escala] 5 [escala]	11,1% 88,9%
Você considerou intuitiva a experiência com a Realidade Virtual no jogo RotaVR (escala 1[nada intuitiva] a 5[muito intuitiva])?	3 [escala] 4 [escala] 5 [escala]	11,1% 44,4% 44,4%
Você achou a ideia de usar um jogo para promover a conscientização no trânsito interessante (escala 1[nada interessante] a 5[muito interessante])?	5 [escala]	100%
Você acredita que o jogo RotaVR atingiu seu objetivo de ajudar no aprendizado sobre conscientização no trânsito (escala 1[não concordo] a 5[concordo plenamente])?	4 [escala] 5 [escala]	11,1% 88,9%

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A última pergunta foi aberta, permitindo que os participantes fizessem comentários gerais, críticas ou sugestões sobre o jogo. Um dos participantes destacou a importância de adicionar contexto ou informações explicativas em cada fase do jogo, pois sentiu que não ficava claro o que aprenderia durante a jogabilidade. Essa sugestão ressalta a necessidade de uma orientação mais detalhada para melhorar a compreensão dos objetivos da fase por parte dos jogadores. Além disso, a avaliação positiva do jogo como "divertido" indica que a experiência de entretenimento foi bem recebida pelos participantes. A sugestão de criar mais fases, especialmente aquelas que envolvam objetivos específicos e feedback detalhado, como multas por infrações de trânsito, demonstra o desejo por desafios adicionais e uma abordagem mais educacional no jogo. No entanto, um relato de tontura no início das cenas sugere a necessidade de ajustes na experiência de Realidade Virtual para evitar desconforto durante o uso.

De maneira geral, os resultados dos quadros apresentam uma avaliação global positiva do jogo RotaVR por parte dos participantes, destacando sua eficácia na conscientização no trânsito. A maioria dos participantes avaliou a experiência geral como satisfatória, considerando os cenários apropriados e a experiência intuitiva. Além disso, todos demonstraram interesse na ideia de usar um jogo para promover a conscientização no trânsito.

4.3 COMPARATIVO COM OS TRABALHOS CORRELATOS

Esta subseção é dedicada à comparação entre o jogo desenvolvido e os trabalhos correlatos apresentados na subseção 2.4. O Quadro 14 ilustra esta comparação, destacando as principais características dos trabalhos.

Quadro 14 – Comparativo dos trabalhos correlatos

Trabalhos correlatos Características	Santana, Tronto, Souza (2018)	Zeuwts <i>et al.</i> (2023)	Santos <i>et al.</i> (2019)	Jogo desenvolvido
realidade virtual	não	sim	não	sim
motor gráfico	Unity	Unity	Construct3	Unity
plataforma	PC	óculos VR	PC	Android/iOS
interação	teclado/mouse	óculos VR/ bicicleta instrumentada	teclado/mouse	controle bluetooth/óculos VR
dimensão	3D	3D	2D	3D
exibe mensagens com conteúdo educativo	sim	não	sim	sim

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Em comparação aos trabalhos correlatos, este trabalho (o RotaVR) se destaca ao integrar algumas das principais características encontradas nestes estudos. Uma dessas características é a utilização da realidade virtual, como demonstrado no trabalho de Zeuwts *et al.* (2023), que desenvolveu uma ferramenta para promover a segurança para ciclismo. Além disso, o jogo RotaVR explora o uso de jogos digitais como meio para ensinar conceitos de trânsito de maneira mais eficaz e engajadora, assim como nos trabalhos de (Santana; Tronto; Sousa, 2018) e de (Santos *et al.*, 2019). Essa abordagem de combinar a imersão da realidade virtual com a educação para o trânsito em um jogo educativo, pode oferecer uma experiência de aprendizado mais rica e interativa. Essa combinação não apenas pode melhorar a eficácia do ensino de conceitos de trânsito, mas também proporciona um treinamento prático em um ambiente controlado e seguro para os usuários.

5 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos, o objetivo de disponibilizar um jogo para dispositivos móveis que utiliza a realidade virtual imersiva para o ensino da conscientização no trânsito foi atendido. Um dos objetivos específicos era disponibilizar uma forma alternativa de mostrar conteúdos relacionados à educação no trânsito e por meio do jogo desenvolvido, foi possível oferecer uma experiência de aprendizado mais interativa para os usuários. Outro objetivo, sendo de realizar testes piloto para avaliar a experiência dos usuários com o jogo também foi cumprido, uma vez que os testes e resultados do questionário revelaram uma avaliação geral positiva por parte dos participantes. Os comentários recebidos no teste são valiosos para ajustes e melhorias no jogo, incluindo sugestões para a implementação de novas funcionalidades. Por fim, o objetivo de disponibilizar diferentes cenários virtuais de trânsito, cada um apresentando desafios distintos foi atendido, visto que a maioria dos usuários considerou os cenários muito adequados, além da demanda por mais fases ser mencionada nos comentários. Isso cria oportunidades para expandir ainda mais o conteúdo educacional do jogo.

O Unity se revelou uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento em Realidade Virtual (RV) e atendeu plenamente todas as necessidades do projeto. Embora algumas das ferramentas utilizadas tenham apresentado desafios iniciais, uma vez compreendidas, elas se mostraram extremamente úteis para facilitar o desenvolvimento. No início, tanto a *Timeline* quanto a *Cinemachine* foram ferramentas desafiadoras de utilizar de maneira eficaz. No entanto, após compreender seu funcionamento, elas se tornaram recursos valiosos que aceleraram significativamente o processo de criação das cinemáticas das cenas. O uso do *PlayerInput* foi fundamental para a integração com o controle, permitindo a movimentação do personagem e a interação no cenário de forma mais fluida e intuitiva. Embora o *NavMesh* tenha sido um conceito complexo no início, uma vez compreendido, ele desempenhou um papel essencial na definição das áreas de movimentação de cada agente no cenário, contribuindo para um desenvolvimento mais eficiente e aumentando o realismo do ambiente virtual.

Como contribuição social, o jogo desenvolvido busca apresentar uma forma diferente e atrativa de promover o ensino da conscientização no trânsito. Ele incentiva o comportamento responsável no trânsito, indo além da tradicional exposição de conteúdos teóricos, que muitas vezes podem ser entediantes para a maioria dos usuários. Essa abordagem oferece uma oportunidade de educar os usuários de maneira mais envolvente e prática, contribuindo para a formação de

cidadãos mais conscientes e responsáveis no trânsito, o que é fundamental para a segurança nas vias públicas. Por ser um jogo gratuito e o equipamento necessário não possui um custo elevado, pode ser levado às escolas como instrumento de ensino para crianças e jovens.

A implementação da RV em um contexto educativo é uma contribuição tecnológica importante. A RV cria um ambiente seguro e controlado no qual os usuários podem aprender sobre trânsito e segurança viária sem os riscos associados ao mundo real. Por meio do uso de dispositivos móveis, a tecnologia de RV se torna mais acessível e aplicável em vários contextos, especialmente em ambientes educacionais. Por fim, o RotaVR reforça a importância dos jogos educativos, mostrando como um jogo pode ser eficaz na transmissão de conhecimentos importantes e no desenvolvimento de novas habilidades.

Embora o jogo tenha alcançado sucesso e cumprido seus objetivos iniciais, foram reconhecidas áreas de melhoria que podem ampliar seu escopo e eficácia. As potenciais extensões do jogo, identificadas ao longo do processo de desenvolvimento e durante os testes, incluem:

- a) incluir textos ou elementos que forneçam um contexto inicial para cada fase, auxiliando na compreensão dos objetivos da fase;
- b) desenvolver fases adicionais, nas quais os usuários tenham objetivos claros a cumprir, seguidos de um relatório detalhando o desempenho com base em suas ações tomadas;
- c) aprimorar as instruções relacionadas ao uso dos botões do óculos de realidade virtual e do controle, tornando-os mais fáceis de entender e utilizar;
- d) aprimorar o design da tela de seleção de fases, tornando-a mais visualmente atrativa;
- e) implementar um menu de configurações, permitindo que os usuários personalizem aspectos do jogo conforme suas preferências;
- f) testar o jogo com grupos de alunos do ensino fundamental, para avaliar de forma mais precisa o impacto educacional do jogo;
- g) expandir a área navegável das fases, adicionando mais interseções, faixas de pedestres e elementos interativos no cenário;
- h) explorar o uso de diferentes modelos de controle para melhorar a experiência de movimentação e interação no ambiente virtual;
- i) adicionar um sistema de pontuação no jogo, aumentando a motivação e engajamento dos usuários;
- j) implementar a funcionalidade de salvamento do jogo, possibilitando que os usuários retomem o jogo a partir do ponto em que pararam sem a necessidade de repetir fases já completadas.

REFERÊNCIAS

AMBEV; FALCONI Consultores de Resultados; ONSV – Observatório Nacional de Segurança Viária. **Retrato da Segurança Viária 2014**, Brasília: ONSV, 2014.

ARAUJO JUNIOR, Delcídes. **Educação de trânsito: a necessidade premente de um trânsito mais altruísta**. 2019. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão de Trânsito) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina.

BONFIM, Lilian M. L. V. *et al.*, Educando Para o Trânsito. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, v.1, n. 000112, p. 1-12, set. 2017.

BOWMAN, Doug A.; MCMAHAN, Ryan P. Virtual Reality: how much immersion is enough? **Computer**, [S.L.], v. 40, n. 7, p. 36-43, jul. 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

BRAGA, Mariluci. Realidade Virtual e Educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2001.

CARVALHO, Gabriel R. de. **A importância dos jogos digitais na educação**. 2018. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FALKEMBACH, Gilse A. M. O lúdico e os jogos educacionais. Porto Alegre: **CINTED-Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação**, UFRGS, 2006.

GOOGLE DEVELOPERS. **Quickstart for Google Cardboard for Unity**, [2023]. Disponível em: <https://developers.google.com/cardboard/develop/unity/quickstart?hl=en>. Acesso em: 16 nov. 2023.

KIRNER, Claudio; KIRNER, Tereza G. Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. **Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências**. São Paulo: Ed. Blucher, v. 1, p. 10-25, 2011.

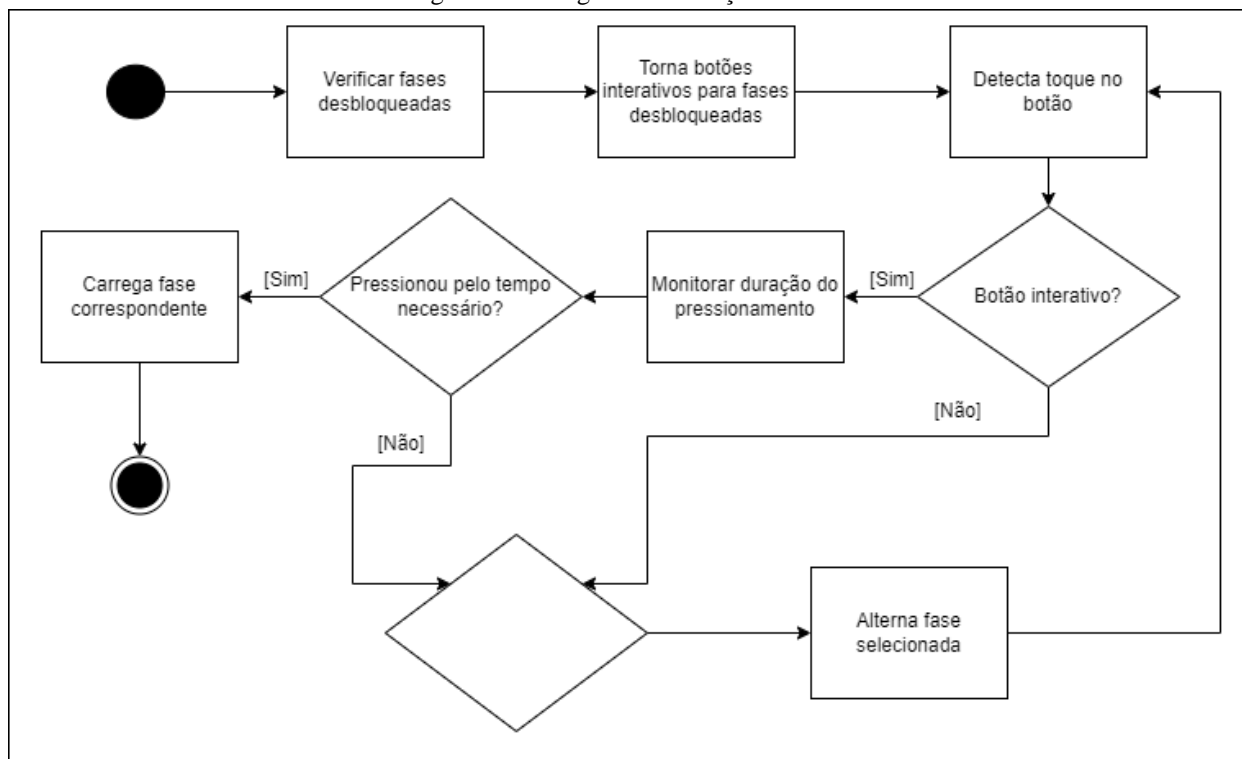
MELATI, Rafael. Entrevista para concepção do jogo. Entrevistador: Guilherme Fibrantz. Blumenau. 2023. Entrevista feita através de conversação – não publicada.

- MIRANDA, Marli. F. S. Trânsito dos alunos no espaço escolar, sua disciplina e reflexo no contexto social. In: FESTIVAL ESTUDANTIL TEMÁTICO DE TRÂNSITO. 2016, Pouso Alegre. **Anais [...]**. Pouso Alegre, 2016, p. 01-10.
- NASCIMENTO, Beatriz R. do. Impactos da educação de trânsito na saúde pública. **Revista UniCET**, v. 3, n. 1, 2021.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Resolução 74/299**. Plano Global - Década de Ação pela segurança no trânsito 2021-2030. Genebra: Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS/OMS), 2021, p. 01-36.
- PEREIRA, Clarissa. J. Entrevista para concepção do jogo. Entrevistador: Guilherme Fibrantz. Blumenau. 2023. Entrevista feita através de conversação – não publicada.
- PRENSKY, Marc. The games generations: How learners have changed. **Digital game-based learning**, v. 1, n. 1, p. 1-26, 2001.
- ROUSSOU, Maria. Learning by doing and learning through play. **Computers In Entertainment**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 10-10, jan. 2004. Association for Computing Machinery (ACM).
- SANTANA, Alessandro D.; TRONTO, Iris F. de B.; SOUSA, Pedro M. de. Jogo Educativo para Auxílio na Educação no Trânsito. **Revista Brasileira de Educação e Cultura (RBEC)**, v. 17, p. 25-45, 2018.
- SANTOS, Jarles G. *et al.* Educação na Faixa: um Jogo 2D para o Ensino da Educação Para o Trânsito. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 25., 2019, Brasília. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 763-772.
- SILVA, John W. da. *et al.* Educa Trânsito – Um jogo de apoio à educação no trânsito. **RENOTE**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, 2014.
- SILVA, Maksuel L. N. da. **Educação para o trânsito: Uma parceria em prol da vida**. 2017. 30f. Monografia (Especialista) - Curso de Pós-Graduação em Segurança Viária Urbana, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína.
- SON, Lucas H. L. Entrevista para concepção do jogo. Entrevistador: Guilherme Fibrantz. Blumenau. 2023. Entrevista feita através de conversação – não publicada.
- TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva; KIRNER, Claudio. Realidade Virtual; in: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. 3. ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020.
- UNITY TECHNOLOGIES. **Canvas**, [2023]. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/2022.3/Documentation/Manual/UICanvas.html>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- UNITY TECHNOLOGIES. **Introduction to Timeline - 2019**, [2020a]. Disponível em: <https://learn.unity.com/tutorial/introduction-to-timeline-2019>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- UNITY TECHNOLOGIES. **Overview of Cinemachine**, [2020b]. Disponível em: <https://learn.unity.com/tutorial/overview-of-cinemachine#>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- ZEUWTS, Linus H. R. H. *et al.* Using an immersive virtual reality bicycle simulator to evaluate hazard detection and anticipation of overt and covert traffic situations in young bicyclists. **Virtual Reality**, v. 27, p. 1-21, 2023.

APÊNDICE A – DIAGRAMA DE SELEÇÃO DE FASES

Neste apêndice é apresentado o diagrama de funcionamento e sequência de ações do jogador na cena de seleção de fases do jogo.

Figura 13 – Diagrama da seleção de fases

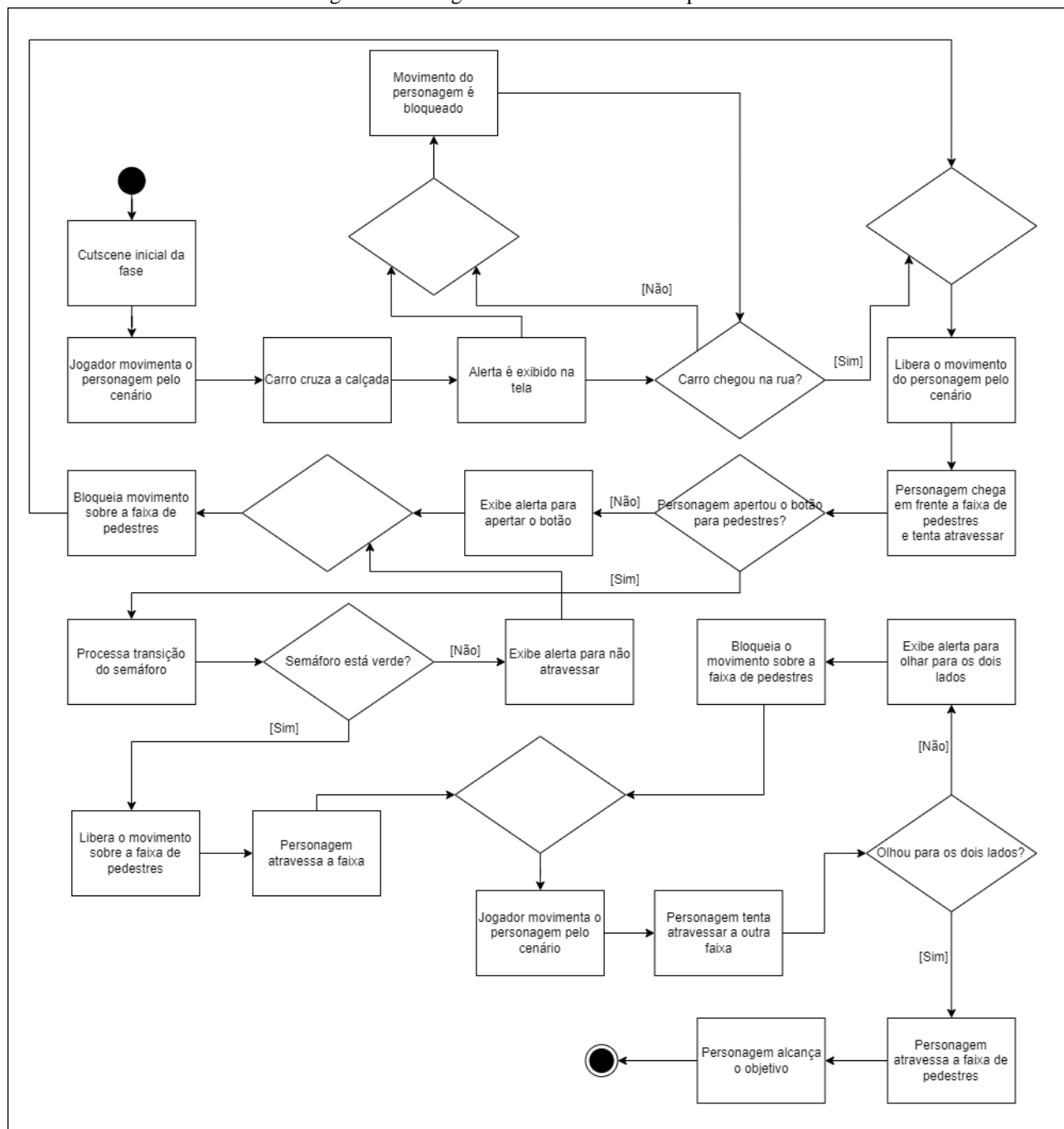


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

APÊNDICE B – DIAGRAMA DA CENA FAIXA DE PEDESTRES

Neste apêndice é apresentado o diagrama que demonstra a sequência de ações do jogador na primeira cena do jogo, denominada faixa de pedestres.

Figura 14 – Diagrama da cena da faixa de pedestres

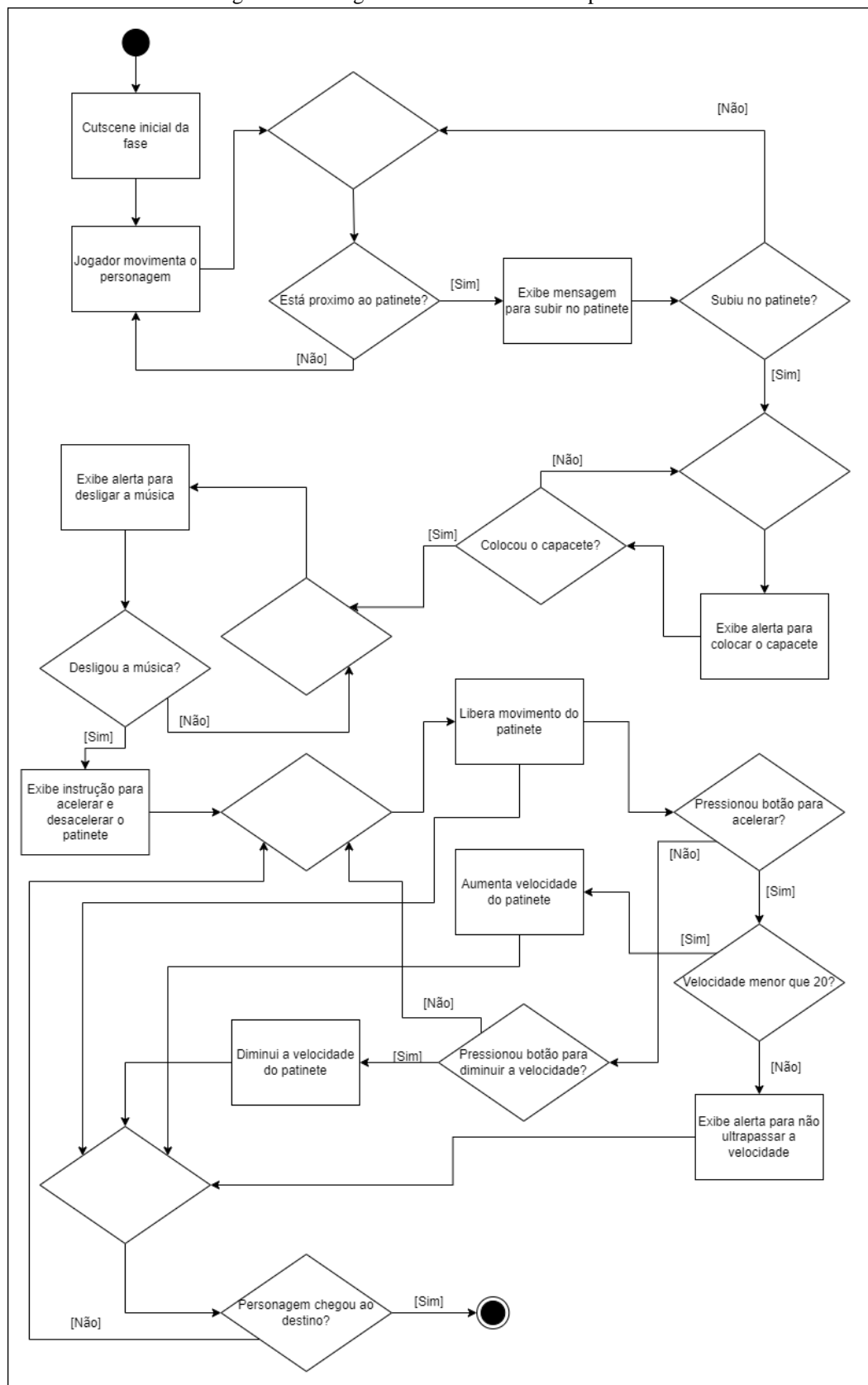


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

APÊNDICE C – DIAGRAMA DA CENA PATINETE

Neste apêndice é apresentado o diagrama que demonstra a sequência de ações do jogador na segunda cena do jogo, denominada patinete.

Figura 15 – Diagrama da cena da faixa de pedestres

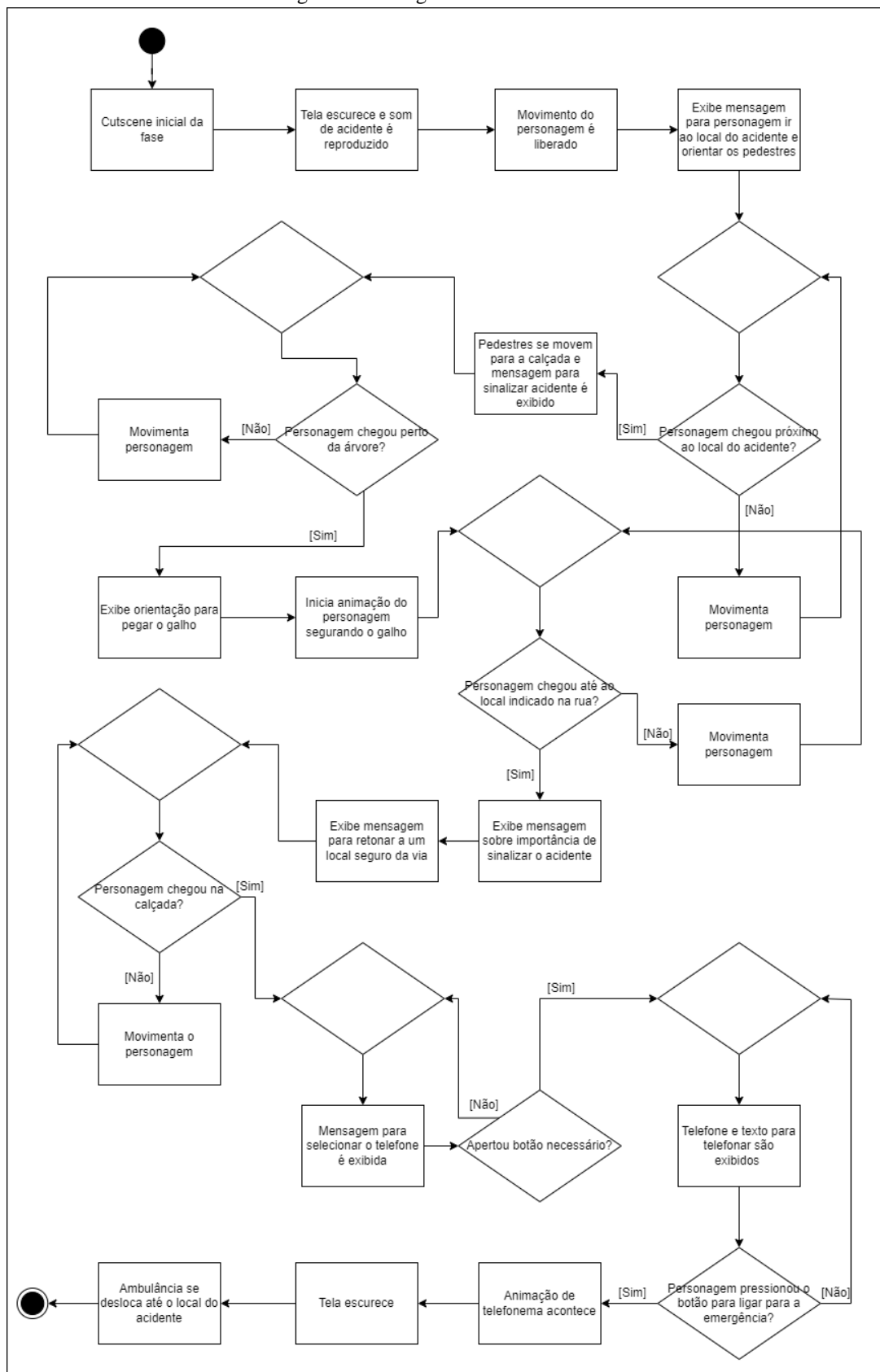


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

APÊNDICE D – DIAGRAMA DA CENA ACIDENTE

Neste apêndice é apresentado o diagrama que demonstra a sequência de ações do jogador na terceira e última cena do jogo, denominada acidente.

Figura 16 – Diagrama da cena acidente



Fonte: elaborado pelo autor (2023).