



Jogo Sérió para Segurança Rodoviária

DAVID OLIVEIRA MAGALHÃES

Setembro de 2025

Jogo S3rio para Seguran7a Rodovi3ria

David Oliveira Magalh3es

**Disserta73o para obten73o do Grau de Mestre em
Engenharia Inform3tica, 3rea de Especializa73o em
Engenharia de Software**

Orientador: Carlos Vaz de Carvalho

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade.

Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Portanto, o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim. As exceções estão explicitamente reconhecidas na secção “Considerações éticas” do primeiro capítulo. Esta secção também declara como as ferramentas de IA foram utilizadas e para que finalidade.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 23 de setembro de 2025

Dedicatória

Este trabalho é dedicado ao engenheiro Zé Oliveira, da empresa *Zarsoft*, por sempre me ter incentivado a programar.

Resumo

Saber conduzir é essencial para grande parte das pessoas, as quais necessitam de adquirir a carta de condução e de se tornarem capazes de evitar acidentes na estrada. Por conseguinte, as escolas de condução desempenham um papel fundamental na sociedade atual. No entanto, o código da estrada é extenso e complexo, o que dificulta o seu ensino num espaço de tempo praticável. Assim, as reprovações em exames teóricos e práticos de condução são relativamente frequentes, causando gastos temporais e monetários adicionais a todos os envolvidos.

Os simuladores e os jogos sérios têm emergido como uma nova e eficaz forma de aprendizagem em diversas áreas. Eles permitem aos utilizadores praticar a resolução de problemas reais sem os riscos e custos inerentes. Além disso, estas ferramentas podem proporcionar os primeiros passos de uma ambientação mais gradual às situações reais, contribuindo para a autoconfiança dos utilizadores.

Esta dissertação descreve o desenvolvimento de um jogo sério para apoio na aprendizagem da condução e das regras subjacentes. O simulador disponibiliza mapas de exame construídos na execução, que são constituídos por diferentes situações de trânsito. Pretende-se desenvolver o conhecimento e a capacidade do utilizador através de desafios consecutivos e imprevisíveis.

Para avaliar a utilidade e eficácia do simulador, foram efetuados inquéritos a voluntários em diferentes estados do percurso de obtenção da carta. Também se solicitou a colaboração de algumas escolas de condução, tendo sido obtidas diferentes perspetivas sobre o projeto.

Os resultados foram positivos, pois a generalidade dos participantes considerou o simulador uma ferramenta interessante para a consolidação do conhecimento do código da estrada.

Palavras-chave: jogos sérios, simuladores, código da estrada, condução, segurança rodoviária.

Abstract

Knowing how to drive is essential for most people. For that they need to acquire a driver's license and to become capable of avoiding accidents on the road. As such, driving schools play a fundamental role in the society of today. However, the traffic code is extensive and complex, making it difficult to teach in a manageable amount of time. Consequently, failures in theoretical and practical driving exams are relatively frequent, resulting in additional temporal and monetary costs for everyone involved.

Simulators have emerged as a new and effective learning tool in a variety of fields. They allow users to practice solving real-world problems without the inherent risks and expenses. Furthermore, these tools can provide the first steps toward a more gradual adaptation to real-world situations, boosting users' self-confidence.

This dissertation describes the development of a serious game to support learning driving and its underlying rules. The simulator provides exam maps constructed at runtime, consisting of different traffic situations. The aim is to develop the user's knowledge and skills through consecutive and unpredictable challenges.

To evaluate the simulator's usefulness and effectiveness, surveys were conducted with volunteers at different stages of the licensing process. The collaboration of some driving schools was also sought, providing different perspectives on the project.

The results were positive, as most participants considered the simulator an interesting tool for consolidating the knowledge of the traffic code.

Keywords: serious games, simulators, traffic code, driving, road safety.

Agradecimentos

Agradeço ao ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) e ao DEI (Departamento de Informática) pela minha formação, tanto na licenciatura como no mestrado.

Agradeço ao GILT (Games Interaction and Learning Technologies) por acolher o projeto.

Agradeço ao meu Orientador, Carlos Vaz de Carvalho, pela dedicação e tempo disponibilizado ao meu projeto final de mestrado.

Agradeço aos participantes do inquérito, por terem testado o simulador e fornecido sugestões.

Por fim, agradeço especialmente à minha família, que sempre me apoiou ao longo da minha vida.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento/Contexto	1
1.2	Descrição do Problema	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Contributos Esperados	3
1.5	Considerações Éticas	4
1.6	Planeamento	5
1.7	Gestão de Riscos	7
1.8	Estrutura do Documento	7
2	Estado da Arte	9
2.1	Segurança Rodoviária	9
2.2	Código da Estrada.....	11
2.2.1	Visão Geral.....	11
2.2.2	Formas de Ensino	13
2.3	Jogos/Simuladores para aprendizagem da condução	15
2.3.1	Metodologia de Pesquisa	16
2.3.2	Questões de Investigação	16
2.3.3	Critérios de inclusão/exclusão.....	16
2.3.4	Fontes de Informação	17
2.3.5	Detalhes de Pesquisa	17
2.3.6	Resultados da Pesquisa.....	18
2.3.7	Síntese da informação recolhida.....	19
2.3.8	Resposta Preliminar às Questões de Investigação	25
2.4	Motores de Jogos e Simuladores	25
2.4.1	<i>Unity</i>	25
2.4.2	<i>Unreal</i>	26
2.4.3	<i>Godot</i>	26
2.4.4	Comparação	26
2.5	Conclusões sobre o Estado da Arte	27
3	Desenho do Simulador	28
3.1	Análise do Problema	28
3.2	Estrutura do Simulador.....	29
3.3	Regras e Sinais a implementar	31
3.4	Elementos da Simulação	33
3.5	Percurso do Exame de Condução	33
3.6	Jogabilidade	34
4	Implementação do Simulador	37

4.1	Ferramentas utilizadas.....	37
4.2	Regras e Sinais implementados	38
4.3	Elementos da Simulação	45
4.4	Percurso do Exame de Condução	47
4.5	Jogabilidade	50
5	Avaliação da Solução	52
5.1	Método	52
5.2	Resultados	52
5.3	Sugestões dos Participantes	60
5.4	Discussão dos Resultados	60
6	Conclusões.....	62
6.1	Objetivos Atingidos	62
6.1.1	Balanço das regras e sinais de trânsito implementadas	62
6.1.2	Resposta Final às Questões de Investigação	62
6.2	Considerações Finais	63

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Work Breakdown Structure</i>	5
Figura 2: Diagrama de Gantt	6
Figura 3: Gráfico da mortalidade rodoviária em Portugal. Retirado de (Our World in Data n.d.).....	10
Figura 4: Comparação da mortalidade rodoviária em Portugal e na UE. Retirado de (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2025).....	10
Figura 5: Exemplos de sinalização. Retirados de Escola de Condução Invicta (n.d.)	13
Figura 6: Simulador acreditado pelo IMT. Retirado de <i>Brainwork Soluções Multimédia (n.d.)</i>	15
Figura 7: Pesquisa sobre trabalhos relacionados no IEEE Xplore.....	18
Figura 8: Pesquisa sobre trabalhos relacionados na ACM Digital Library	18
Figura 9: Resultados da pesquisa de trabalhos relacionados. Adaptado de Page, McKenzie, et al. (2021)	19
Figura 10: Simulador para dispositivos móveis. Retirado de Fung et al. (2023).	20
Figura 11: Vista dentro (esquerda) e fora (direita) do veículo. Retiradas de Johnson et al. (2022).	20
Figura 12: Lista de atividades da aplicação Trafik Moris. Retirado de Jaunoo & Nagowah (2022).	21
Figura 13: Simulador de condução da aplicação Trafik Moris. Retirado Jaunoo & Nagowah (2022)...	22
Figura 14: Direções com setas flutuantes (esquerda) e ecrã (direita). Retiradas de Kopciak et al. (2016).	22
Figura 15: Simulador controlado por dispositivos diferentes. Retirado de Rodrigues et al. (2015).....	23
Figura 16: Editor de situações de trânsito. Retirado de Nogueira (2014).....	24
Figura 17: Visualização do jogador (esquerda) e cenário (direita). Retiradas de Kandhai et al. (2011).	24
Figura 18: Fluxograma dos ecrãs do simulador.....	29
Figura 19: Menu principal do simulador.	29
Figura 20: Lista de controlos disponíveis.	30
Figura 21: Ecrã da simulação.	30
Figura 22: Menu de opções do simulador.....	31
Figura 23: Exemplo de cenário do simulador.....	33
Figura 24: Exemplo de mapa gerado pelo simulador.....	34
Figura 25: Alternativas de controlo do simulador.....	35
Figura 26: Exemplo de ordem de direção.	35
Figura 27: Exemplo de mensagem de infração.	36
Figura 28: Quadro de resultados da simulação.....	36
Figura 29: Editor do <i>Unity</i>	37
Figura 30: Formas base dos sinais de trânsito.	38
Figura 31: Formas base com texturas aplicadas.	38
Figura 32: Exemplo de um evento no cenário.....	39
Figura 33: Configuração do evento de sentido proibido.....	40
Figura 34: Verificação de luzes no cruzamento.....	41
Figura 35: Verificação de luzes na rotunda.	43
Figura 36: Teste de luz no interior da rotunda.....	44
Figura 37: Teste de luz na saída da rotunda.....	44
Figura 38: Área (azul-claro) que os agentes podem percorrer.	45

Figura 39: Trajetória definida por um <i>Spline</i>	46
Figura 40: <i>NPC</i> parado no STOP.	47
Figura 41: Pesquisa automática de testes.....	49
Figura 42: Configuração do <i>input</i>	50
Figura 43: Configuração da câmara.....	51
Figura 44: Distribuição dos participantes por género.	53
Figura 45: Distribuição dos participantes por faixas etárias.	53
Figura 46: Distribuição dos participantes por estado de obtenção da carta de condução.....	54
Figura 47: Distribuição dos participantes com carta, por número de anos com carta.	54
Figura 48: Distribuição dos participantes por experiência em videojogos ou simuladores.....	55
Figura 49: Visão geral das pontuações obtidas na primeira simulação.	55
Figura 50: Pontuações obtidas na primeira simulação pelos portadores de carta.....	56
Figura 51: Pontuações obtidas na primeira simulação por jogadores frequentes.	56
Figura 52: Visão geral das pontuações obtidas na segunda simulação.	57
Figura 53: Pontuações obtidas na segunda simulação pelos portadores de carta.....	57
Figura 54: Pontuações obtidas na segunda simulação por jogadores frequentes.....	58
Figura 55: Respostas referentes à utilidade do simulador.....	58
Figura 56: Respostas referentes ao realismo do simulador.	59
Figura 57: Respostas referentes à facilidade de compreensão das mensagens de infrações.	59

Lista de Tabelas

Tabela 1: Taxas de Aprovação nos exames de condução da categoria B no ano de 2021. Fonte: (Instituto da Mobilidade e dos Transportes [IMT] 2021).	2
Tabela 2: Sinistralidade Rodoviária em Portugal no ano de 2023. Fonte: (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária [ANSR] 2023).	2
Tabela 3: Fontes de informação consultadas.....	17
Tabela 4: Comparação de motores de jogos.....	26
Tabela 5: Lista de sinais implementados.....	38
Tabela 6: Resumo de resultados do questionário SUS.....	60

Lista de Excertos de Código

Excerto de Código 1: Infração numa zona proibida.	41
Excerto de Código 2: Verificação de luzes nos cruzamentos.	42
Excerto de Código 3: Verificação de luzes genérica.	43
Excerto de Código 4: Geração do percurso de exame.	48

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
UE	União Europeia
GILT	<i>Games Interaction and Learning Technologies</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IMT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
IP	Instituto Público
IPP	Instituto Politécnico do Porto
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
NPC	<i>Non-Player Character</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PREPD	Preparação para Dissertação
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>
SUS	<i>System Usability Scale</i>
UI	<i>User Interface</i>
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>

1 Introdução

Este capítulo dedica-se à transmissão da informação básica necessária à compreensão do trabalho. Começa por apresentar a organização e o problema. De seguida, enumera os objetivos do projeto. Depois, são abordadas as questões éticas relevantes. Posteriormente, é apresentado o planeamento do projeto. Finalmente, é feita uma breve descrição da estrutura do documento.

1.1 Enquadramento/Contexto

Esta primeira secção expõe o enquadramento do projeto e o contexto que o originou. São apresentados ambos o problema abordado e a organização acolhedora, realçando a relação entre os dois.

O problema identificado consiste nas dificuldades enfrentadas nas escolas de condução, tanto pelos instrutores como pelos alunos. Estas dificuldades incluem custos materiais e temporais no ensino e o insucesso nos exames. Para além disso, mesmo após a obtenção da carta de condução, os condutores são suscetíveis de se envolverem em acidentes. Realça-se ainda que, segundo os dados da União Europeia (EU), “cerca de 95% dos acidentes rodoviários envolvem erro humano” (Parlamento Europeu 2019, para. 14).

Tendo em conta este problema, surgiu a ideia de desenvolver uma solução informática enquadrada na área de jogos sérios. Esta área explora o uso de jogos e das suas características motivacionais e imersivas para fins não recreativos. O raciocínio foi o seguinte: a existência de um simulador realista e imersivo proporcionaria uma forma acessível não só de praticar a condução, como também de testar o conhecimento do Código da Estrada.

Com o projeto idealizado, pesquisou-se uma organização relacionada com esta área tecnológica e que demonstrasse interesse. A procura realizada direcionou para o centro de investigação *Games Interaction and Learning Technologies* (GILT), sediado no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). As áreas de investigação do GILT incluem, entre outras, as tecnologias de aprendizagem e os jogos sérios, sendo um dos seus objetivos a integração de tecnologia em ambientes educacionais.

1.2 Descrição do Problema

Esta secção expõe o problema subjacente ao projeto a desenvolver.

Na sociedade atual, é importante para grande parte da população ter carta de condução. No entanto, como se pode constatar na Tabela 1, a taxa de aprovação nos exames necessários para a obtenção da carta é cerca de 63%.

Tabela 1: Taxas de Aprovação nos exames de condução da categoria B no ano de 2021. Fonte: (Instituto da Mobilidade e dos Transportes [IMT] 2021).

	Número de Provas	Taxa de Aprovação
Provas Teóricas	158 150	65,04%
Provas Práticas	146 583	61,57%
Total	304 733	63,37%

Portanto, muitas pessoas têm de repetir exames, o que lhes traz custos de tempo e dinheiro. Tendo isto em conta, seria benéfico para os candidatos a condutor melhorar o mais possível a taxa de aprovação.

Outro aspeto importante, são os números de sinistralidade rodoviária, que, como se pode constatar na Tabela 2, ainda são elevados no país.

Tabela 2: Sinistralidade Rodoviária em Portugal no ano de 2023. Fonte: (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária [ANSR] 2023).

	Acidentes com Vítimas	Vítimas mortais	Feridos Graves	Feridos Leves
Continente	34974	467	2437	41058
Açores	620	3	110	708
Madeira	1001	9	99	1124
Total	36595	479	2646	42890

De modo a melhor entender a importância destes números, pode-se usar como referência os valores da UE. Em 2023, Portugal registou 62 mortes por milhão de habitantes, o que o posiciona como o 5º pior país da UE em termos de segurança rodoviária. A Noruega (20 /milhão) e a Suécia (22/milhão) tiveram os melhores resultados. A Roménia (81/milhão) e Bulgária (81/milhão) obtiveram os piores resultados. A média da UE nesse ano foi 46 mortes por milhão de habitantes (European Commission 2025).

Face a estas estatísticas, quaisquer contributos para o melhoramento das capacidades dos condutores seriam benéficos para a sociedade.

1.3 Objetivos

Esta secção enuncia o objetivo principal do projeto e formula as questões de investigação fundamentais para a sua realização.

Este projeto tem como objetivo a elaboração de uma ferramenta de aprendizagem que consiste num simulador de condução focado nas regras e sinais constituintes do Código da Estrada.

As questões de investigação para o presente trabalho são as seguintes:

- Qual a potencialidade e eficácia do uso de Jogos e/ou Simuladores para aprendizagem?

Pesquisar sobre o uso de jogos e simuladores para aprendizagem permite fundamentar a viabilidade do ensino através de simuladores.

- Quais as características de um simulador de condução que o tornam eficaz para a aprendizagem do Código da Estrada?

Procurar simuladores de condução já existentes é importante para perceber o que já foi feito e os resultados obtidos na área, de modo a orientar a análise e desenho da solução à resolução de possíveis lacunas encontradas.

1.4 Contributos Esperados

Esta secção explica o valor que a concretização do projeto espera trazer para cada *stakeholder* envolvido.

Para os Alunos de Condução (ou seja, os utilizadores):

- Uma nova ferramenta para a aprendizagem das regras do código da estrada;
- Avaliação do cumprimento das regras em tempo real, num ambiente simulado;
- Aumento da taxa de sucesso nos exames de condução, tanto teóricos como práticos.

Para as Escolas de Condução:

- Redução de custos do ensino, especialmente nas aulas práticas;
- Redução do tempo despendido pelos professores e instrutores.

Para os Legisladores:

- Melhoria no cumprimento das regras e leis estipuladas.

1.5 Considerações Éticas

Nesta secção são abordadas questões éticas referentes ao projeto e à investigação subjacente, endereçando códigos de ética apropriados.

Deve ser referido, conforme a declaração de integridade, que este trabalho teve início na unidade curricular de Preparação para Dissertação (PREPD), onde foram elaborados e avaliados os capítulos de Introdução e de Estado da Arte. Relativamente às ferramentas de inteligência artificial, elas não foram aplicadas na escrita do relatório. A pesquisa foi efetuada em motores de busca tradicionais e a gestão de referências bibliográficas foi assegurada pelo software *Mendeley Reference Manager*. Durante o desenvolvimento do simulador, porém, recorreu-se ao *Github Copilot* para acelerar o processo.

Como este trabalho é realizado no contexto do Instituto Politécnico do Porto (IPP), tem de respeitar o Regulamento do Código de Boas Práticas e de Conduta do IPP (Instituto Politécnico do Porto 2020). E, tratando-se de uma dissertação, o artigo 8º do regulamento exige a presença de uma declaração de integridade, que está presente no início deste documento. Adicionalmente, por se tratar de um projeto de investigação, o trabalho também está sujeito às boas práticas nas atividades de investigação, conforme indicado no artigo 10º. Com base nestas orientações, serão tomadas as medidas necessárias para assegurar a integridade científica, por exemplo, citando qualquer referência usada e mantendo uma postura imparcial na avaliação dos resultados da solução.

Pelo facto de o trabalho envolver computação, também é relevante ter em consideração o *ACM Code of Ethics and Professional Conduct* (Association for Computing Machinery 2018). Este código de ética defende que os profissionais de computação devem aplicar os seus conhecimentos de modo a contribuir para o bem-estar da humanidade. Para além disso, realçam a importância da honestidade e transparência, por exemplo, em relação às capacidades, limitações e potenciais problemas dos sistemas disponibilizados.

Por fim, sendo este trabalho um projeto de engenharia de *software*, está abrangido pelo *ACM Software Engineering Code of Ethics and Professional Practice* (Association for Computing Machinery 1999). Um dos pontos referidos neste código de ética é o requisito de divulgar quaisquer riscos associados à utilização do *software* desenvolvido. Também inclui diretrizes

sobre a confidencialidade e privacidade relativamente a dados pessoais adquiridos durante as atividades exercidas.

Os códigos de ética acima referidos abrangem situações gerais, mas a partir deles pode-se definir medidas concretas para o presente trabalho. Um exemplo é a inclusão de um aviso no início da execução da aplicação desenvolvida, referindo alguns aspetos importantes sobre limitações do simulador e cuidados a ter na sua utilização. Este aviso esclarece que o conhecimento apresentado não abrange a totalidade do código da estrada. Também indica que, em caso de divergência de informação em relação à obtida na escola de condução, o utilizador deve considerar apenas a informação adquirida na escola de condução. Alerta, ainda, sobre a possibilidade de o utilizador adquirir comportamentos inadequados, por fazer manobras ilegais não verificadas pelo simulador. Outro aspeto importante é manter anónimos os participantes do inquérito de avaliação da solução, não guardando nem publicando dados sensíveis.

1.6 Planeamento

Esta secção apresenta o planeamento do projeto, através de um *Work Breakdown Structure* (WBS) e de um diagrama de Gantt. A Figura 1 mostra o WBS, construído tendo em mente a estratégia de *Design and Creation*. Nele, é possível ver as principais fases e entregáveis do projeto. A Figura 2 mostra o diagrama de Gantt, onde é possível visualizar as datas de início e de fim de cada tarefa.



Figura 1: *Work Breakdown Structure*

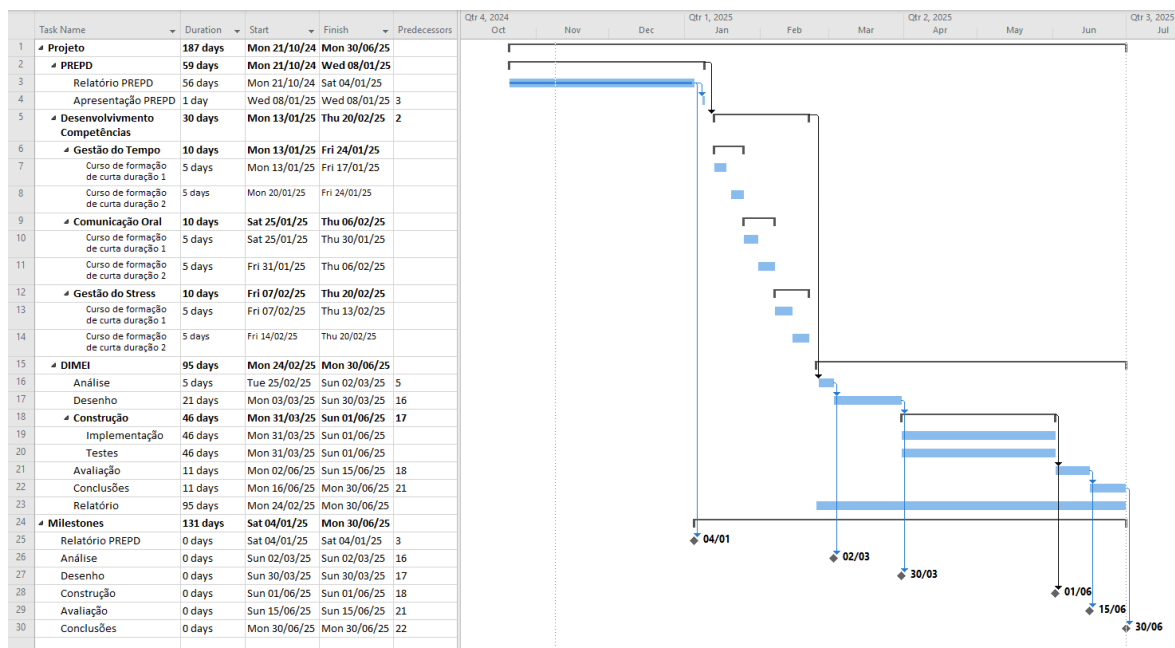


Figura 2: Diagrama de Gantt

O projeto começa com uma fase de preparação, no contexto da unidade curricular de PREPD. Nesta fase, são elaborados os capítulos do relatório anteriores à análise, destacando-se a pesquisa das áreas de investigação específicas do trabalho. Depois desta fase, e antes das atividades letivas seguintes, é posto em prática um plano de melhoria de competências consideradas importantes para desenvolver. Estas atividades consistem na realização de cursos de formação de curta duração na plataforma online *LinkedIn Learning*. Tendo isto feito, prossegue-se para a concretização do projeto, que se inicia com a análise do problema. Esta tarefa serve para decidir qual será a melhor abordagem para uma ferramenta de aprendizagem mais eficiente. Tendo selecionada a abordagem, procede-se ao desenho da solução, onde são exploradas diferentes alternativas de implementação da mesma. A próxima etapa consiste na construção da solução preconizada, envolvendo atividades de implementação e de teste. Consecutivamente, ocorre a avaliação do jogo por uma equipa de teste, donde são obtidos resultados. Por fim, a partir desses resultados, são retiradas conclusões relativas à eficácia da solução desenvolvida. A elaboração do relatório final decorre paralelamente às outras tarefas, ao longo de toda a extensão do projeto.

Note-se que o projeto não decorreu exatamente como o planeado, tendo sido efetuada a decisão de o entregar na época especial de DIMEI (setembro). Verificou-se que era necessário mais tempo para a fase de construção, a qual prolongou-se até ao final do mês de junho. Para além disso, houve alguma dificuldade em encontrar uma amostra significativa e diversa de elementos para a equipa de teste. Assim, a fase de avaliação ocorreu desde o começo de julho

até ao meio de agosto, tendo sido efetuadas em paralelo algumas melhorias no simulador com base no *feedback* dos utilizadores de teste.

1.7 Gestão de Riscos

Esta secção identifica os riscos subjacentes ao presente projeto, juntamente com as respetivas medidas planeadas para os gerir. Os riscos foram identificados seguindo uma estratégia de *brainstorming*, sendo a informação organizada numa tabela *Risk Register* (ver o Anexo A). Resumidamente, os três riscos identificados consistem no seguinte:

Risco 1 - Não implementar todas as regras e sinais seleccionados no início.

Este risco tem como causa uma definição possivelmente extensa do âmbito do projeto. Caso aconteça, terá como efeito um resultado menos completo do que previsto. Como tal, este risco foi classificado como médio. Em termos de resposta, está planeada uma mitigação através da ordenação das regras e sinais a implementar por importância decrescente.

Risco 2 - Não conseguir formar uma equipa de teste.

Este risco tem como causa o número possivelmente insuficiente de membros encontrados para a equipa de teste. Caso aconteça, terá como consequência a impossibilidade de avaliação da solução. Como tal, este risco foi classificado como médio. Em termos de resposta, está planeado ser evitado, contactando primeiramente alunos de condução, e, em segunda opção, contactos conhecidos.

Risco 3 - Não construir um ambiente 3D apelativo.

Este risco tem como causa a possível dificuldade em encontrar *assets* gratuitos para popular o cenário 3D. Caso aconteça, a usabilidade da solução fica comprometida. Como tal, este risco foi classificado como médio. Em termos de resposta, será aceite, mas como plano de contingência, poderão ser modelados *assets* considerados essenciais que não sejam encontrados

1.8 Estrutura do Documento

Por fim, esta secção descreve a estrutura do presente documento. Para além da Introdução, existem mais 5 capítulos: Estado da Arte, Desenho do Simulador, Implementação do Simulador, Avaliação da solução e Conclusões. No Estado da Arte é feita uma revisão sobre o

ensino do código da estrada, o uso de simuladores para aprendizagem, trabalhos relacionados e motores de jogos. No Desenho do Simulador são planeados o conteúdo e a jogabilidade adequados. Na Implementação do Simulador é detalhada a construção da solução, relativamente às tecnologias usadas. Na Avaliação da Solução, são apresentados e discutidos os resultados de testes realizados por um conjunto de utilizadores padrão, relativamente à usabilidade, jogabilidade e eficiência de aprendizagem. Por fim, nas Conclusões são identificados os principais aspetos, inovações e resultados relativamente à totalidade do trabalho desenvolvido.

2 Estado da Arte

Neste capítulo, é apresentado um estado da arte sobre os assuntos relevantes para o projeto a desenvolver, nomeadamente, o código da estrada, simuladores para aprendizagem, trabalhos relacionados e motores de jogos.

2.1 Segurança Rodoviária

A Organização Mundial da Saúde (OMS) indica que o número de mortes e feridos na estrada constitui um grande desafio para a saúde e o desenvolvimento a nível mundial. Ela salienta que os acidentes rodoviários são a principal causa de morte das crianças e jovens entre os 5 e 29 anos, e a décima-segunda causa considerando todas as idades (World Health Organization 2023).

Em 2010, A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu o objetivo de reduzir para metade o número de mortes e feridos graves nas estradas durante a década de 2011-2020. Este objetivo foi depois renovado para a década seguinte com novas medidas, incluindo um plano global para orientar os governos a atingir o objetivo até 2030 (Department of Safety and Security n.d.).

Em 1997, a Suécia incorporou para a sua legislação a Visão Zero, a qual reforça que nenhuma perda de vida é aceitável e define a meta de eliminar completamente as mortes e feridos graves na estrada até 2050. A abordagem está assente em melhorar cinco pilares: a gestão da segurança rodoviária, a infraestrutura rodoviária, a segurança dos veículos, a segurança dos utilizadores e a resposta pós-acidente. Desde então, tem sido adotada à volta do mundo, incluindo ao nível da União Europeia (We live vision zero n.d.).

Relativamente ao nosso país, a Figura 3 mostra a evolução da mortalidade rodoviária ao longo dos anos.

Deaths in road incidents

Annual number of reported deaths from any type of road incident, based on the underlying cause listed on death certificates. Road incidents include events that involve vehicles, pedestrians, and cyclists.

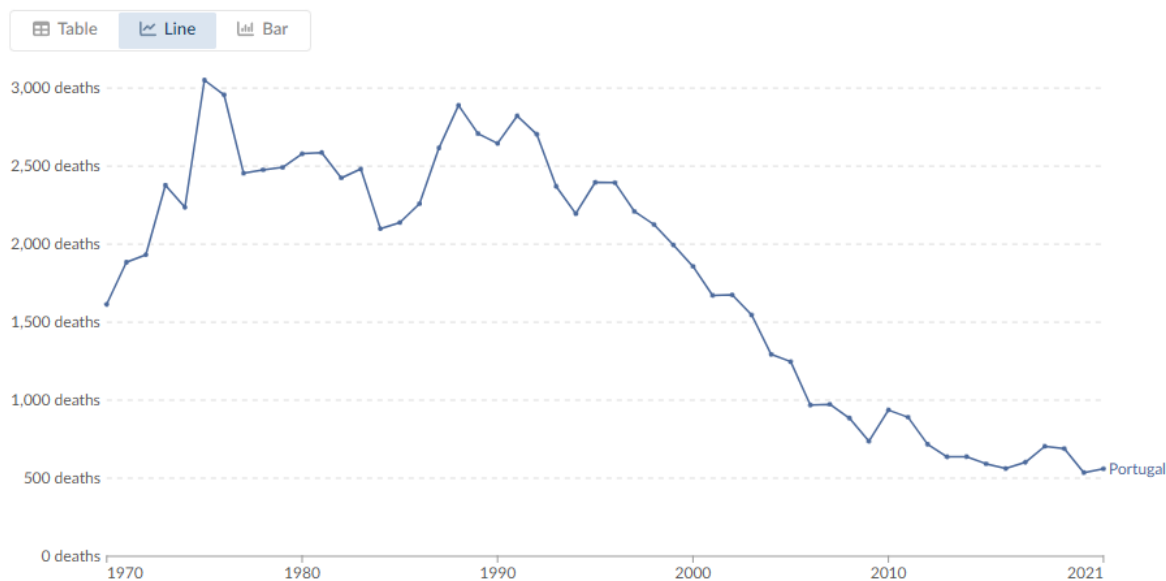


Figura 3: Gráfico da mortalidade rodoviária em Portugal. Retirado de (Our World in Data n.d.).

Em Portugal, o número de mortes em acidentes rodoviários tendeu a aumentar até ao final do século XX. A partir daí, a situação tem melhorado significativamente, mas ainda temos cerca de 500 mortos por ano.

Na Figura 4, podemos comparar a evolução da mortalidade rodoviária em Portugal e na UE.



Figura 4: Comparação da mortalidade rodoviária em Portugal e na UE. Retirado de (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2025)

Observando o gráfico anterior, vemos que Portugal tem tido valores superiores de mortes por milhão de habitantes em comparação com a média da UE.

2.2 Código da Estrada

Esta secção pretende contextualizar o tema do projeto e consolidar uma base de informação para aplicar no desenho do simulador, em particular na seleção de regras e sinais a incluir. Em primeiro lugar, é transmitida uma visão geral do Código da Estrada, incluindo os seus objetivos, estrutura e componentes. Seguidamente, são apresentadas as formas de ensino atualmente empregues pelas escolas de condução. Dada a natureza destes tópicos, optou-se por uma pesquisa informal, baseada em *sites* do governo e de escolas de condução.

2.2.1 Visão Geral

“Os objetivos do ensino da condução visam a segurança rodoviária, a condução consciente dos riscos, permitindo que o condutor faça opções de segurança.” (Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres [IMTT] 2010a).

O Código da Estrada é um documento legal que pretende minimizar o número de acidentes rodoviários e otimizar o fluxo de trânsito. Isto é conseguido através de um conjunto de leis que descrevem as responsabilidades de cada utilizador da via pública, e as respetivas sanções resultantes do seu incumprimento. Uma via pública é definida como “via de comunicação terrestre afeta ao trânsito público”. Dada a alargada diversidade de utilizadores envolvidos, eles foram agrupados segundo as suas características comuns, cada um regido por legislação específica. Alguns grupos são os utilizadores vulneráveis (peões e velocípedes), os condutores de motociclos e os condutores de automóveis (podendo ser ligeiros ou pesados, de passageiros e/ou de mercadorias e com ou sem reboque). O documento é constituído por 189 artigos, estando estes organizados por tema em quatro níveis: títulos, capítulos, secções e subsecções. O documento tem 79 páginas no Diário da República de 9 de dezembro de 2020. A seguinte lista apresenta a estrutura do documento seguindo apenas os dois níveis mais altos de organização. (ANSR 2020).

- Título I - Disposições gerais
 - Capítulo I - Princípios gerais
 - Capítulo II - Restrições à circulação

- Título II - Do trânsito de veículos e animais
 - Capítulo I - Disposições comuns
 - Capítulo II - Disposições especiais para motociclos, ciclomotores e velocípedes
 - Capítulo III - Disposições especiais para veículos de tração animal e animais

- Título III - Do trânsito de peões
- Título IV - Dos veículos
 - Capítulo I - Classificação dos veículos
 - Capítulo II - Características dos veículos
 - Capítulo III - Inspeções
 - Capítulo IV - Matrícula
 - Capítulo V - Regime especial
- Título V - Da habilitação legal para conduzir
 - Capítulo I - Títulos de condução
 - Capítulo II - Requisitos
 - Capítulo III - Troca de título
 - Capítulo IV - Novos exames e caducidade
- Título VI - Da responsabilidade
 - Capítulo I - Disposições gerais
 - Capítulo II - Disposições especiais
 - Capítulo III - Garantia da responsabilidade civil
- Título VII - Procedimentos de fiscalização
 - Capítulo I - Procedimento para a fiscalização da condução sob influência de álcool ou de substâncias psicotrópicas
 - Capítulo II - Apreensões
 - Capítulo III - Abandono, bloqueamento e remoção de veículos
- Título VIII - Do processo
 - Capítulo I - Competência e forma dos atos
 - Capítulo II - Processamento
 - Capítulo III - Da decisão
 - Capítulo IV - Do recurso
 - Capítulo V - Da prescrição

O Código da Estrada abrange diversos temas relacionados com a condução, mas para o presente projeto o foco está nas regras e sinais que os condutores de automóveis ligeiros devem respeitar. Alguns exemplos de regras são parar no STOP, não pisar linhas contínuas e circular pela direita. Alguns exemplos de sinalização são STOP, passagem para peões, semáforos e sentido obrigatório. Estes exemplos de sinalização estão representados na Figura 5.



Figura 5: Exemplos de sinalização. Retirados de Escola de Condução Invicta (n.d.)

2.2.2 Formas de Ensino

Como indicado pelo IMTT (2010a), as aulas nas escolas de condução estão divididas em lições teóricas e em lições práticas, ambas com a duração mínima de 50 minutos e com intervalos de 10 minutos. Nestas aulas,

“O instrutor pode recorrer a diversas técnicas de aprendizagem, experimentando novas formas de transmitir os conteúdos da formação, nomeadamente através do recurso à simulação, coaching e sessões de grupo, de modo a promover a aquisição de competências nos candidatos condutores, que potenciem a inserção de trânsito em segurança.” (IMTT 2010a)

Tendo isto em conta, o IMTT (2010b) descreve os seguintes métodos de ensino:

- **Método Expositivo** - Este método consiste na transmissão oral de conhecimento do instrutor para os candidatos a condutores. É um método frequentemente usado, no qual pretende-se captar a atenção e concentração de quem aprende, despertando a curiosidade e estimulando a reflexão. As exposições e explicações também podem ser acompanhadas por apresentações de material pedagógico.
- **Método Interrogativo** - Neste método de ensino, são dirigidas perguntas aos candidatos, havendo uma participação ativa por parte destes. É comum ser usado juntamente com o método expositivo, com vista a garantir que os alunos estão a conseguir seguir o conteúdo lecionado.
- **Método Demonstrativo** - Método de ensino em que o instrutor exemplifica como se faz determinada operação técnica ou prática. Tendo testemunhado a operação e esclarecido eventuais dúvidas, o candidato repete-a até ter o seu domínio. É uma estratégia útil em casos nos quais a transmissão de conhecimento por palavras não é suficiente.

- **Método Ativo** - Método de ensino baseado na ação. O formando é envolvido em atividades práticas que lhe permitem adquirir aptidões motoras e comportamentos necessários na condução automóvel. Exemplos de atividades incluem exercícios práticos, estudo de casos, simulação de casos e trabalhos de grupo.
- **Método Coaching** - Forma de ensino na qual o candidato a condutor está ativamente a praticar a condução, enquanto é acompanhado pelo instrutor, que o observa, interroga e fornece *feedback*.
- **Método E-Learning** - É um método de educação à distância para apoio às aulas teóricas, baseado em conteúdos acessíveis a qualquer altura através do computador. Pode também incluir sessões com o instrutor, tanto presenciais como em salas virtuais.

Ensino por Simulador

Em 2015, foi publicada no Diário da República a portaria 185/2015, referente ao ensino da condução. De acordo com o n.º 1 artigo 8.º desta portaria, “podem ser utilizados simuladores de condução, sendo contabilizadas até ao máximo 25 % das horas de formação, considerando-se que cada hora de formação em simulador corresponde a 15 quilómetros percorridos, para efeitos da formação prática mínima obrigatória”. O n.º 2 do mesmo artigo refere que “os simuladores utilizados no ensino prático da condução devem observar as regras de circulação rodoviária em vigor e as suas características são aprovadas pelo IMT, I. P. [Instituto Público], nos termos a definir por deliberação do Conselho Diretivo do IMT, I. P., disponível no sítio do IMT, I. P., na Internet” (Diário da República 2015).

Os requisitos necessários de um simulador para obter a acreditação do IMT estão descritos na deliberação de 2016 do IMT. Existem requisitos de equipamento, como volante, três pedais, caixa de velocidades, cinto de segurança, comandos de luzes e sistema de visualização frontal e periférica. O simulador tem de englobar diversos cenários, como início à condução, vias urbanas e não urbanas, autoestradas, distância de segurança e travagem. O simulador tem de disponibilizar um sistema de gravação, armazenamento e envio de dados tais como a identificação do candidato e do instrutor e a data e duração da aula. O simulador tem de abordar diferentes condições climáticas em ambiente diurno e noturno, como chuva, neve e nevoeiro e diferentes níveis de tráfego. Têm ainda de ser simulados os sistemas de apoio à condução, a pressão e condição dos pneumáticos, avarias e caixas de velocidades automáticas e manuais (IMT 2016).

Os simuladores *SimDriver*, da empresa *Brainwork*, sediada em Santarém, são um exemplo de simuladores acreditados pelo IMT. A empresa desenvolveu diferentes tipos de simuladores,

incluindo de automóveis ligeiros, de motociclos e adaptados para pessoas com deficiência motora (Brainwork Soluções Multimédia n.d.). A Figura 6 apresenta o simulador *SimDriver* de automóveis ligeiros.



Figura 6: Simulador acreditado pelo IMT. Retirado de *Brainwork Soluções Multimédia (n.d.)*.

2.3 Jogos/Simuladores para aprendizagem da condução

Nesta secção, são analisados simuladores de condução relacionados com o presente projeto, realçando as funcionalidades inovadoras encontradas. Adicionalmente, por se tratar de uma pesquisa científica, primeiramente é descrita a metodologia usada.

Como referido por Johnson et al. (2022), “Os simuladores são um método de treino historicamente comprovado e especialmente úteis nas situações em que o treino em ambiente real é problemático”¹. Os simuladores são atualmente aplicados em várias áreas, incluindo aviação, saúde e socorro de emergência (Program-Ace 2024). No caso da aviação em particular, Coptersafety (2023) descreve algumas vantagens do treino em simuladores. A primeira é a segurança, pois o formando pode cometer erros sem haver consequências reais, podendo repetir as manobras até as aperfeiçoar. A segunda é a possibilidade de praticar a resolução de situações inesperadas ou emergências, que de outro modo seriam abordadas principalmente em teoria. A terceira é o realismo, porque o instrutor pode deixar o formando

¹ Tradução livre do autor. No original “Simulators are an old and well-accepted method of training in situations where training in real environments is challenging.”.

confrontar-se com situações de risco, em casos que teria normalmente de tomar o comando. A quarta é a redução de custos, uma vez que não existem os normais custos de combustível e manutenção, e não é necessário reservar aviões para treino, enquanto estiverem na fase de treino simulado. Por fim, refere as vantagens ambientais, pois não envolve emissões resultantes de combustão, nem poluição sonora.

2.3.1 Metodologia de Pesquisa

A metodologia de pesquisa aplicada foi a *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Esta metodologia está descrita oficialmente no documento “*PRISMA 2020 Explanation and Elaboration*” por Page et al. (2021). Essencialmente, inicia-se com a identificação das questões de investigação a que se pretende responder. Para cada questão identificada, definem-se critérios de inclusão e critérios de exclusão pelos quais serão filtrados os documentos encontrados. De seguida, especifica-se todos os motores de busca e bases de dados a consultar. Ainda antes de iniciar a pesquisa nestes, indica-se as estratégias a usar, como palavras-chave e filtros. Da pesquisa resultante, surgirá um conjunto de documentos, aos quais também se juntam outros previamente obtidos pelo pesquisador. Posteriormente, começa a fase de triagem, baseada nos critérios definidos anteriormente. Numa primeira fase, os documentos encontrados são filtrados tendo em conta apenas o título e o resumo. Seguidamente, descartam-se os que não estiverem acessíveis na totalidade. Por fim, o conjunto restante é filtrado tendo em conta o conteúdo total de cada documento. Tendo a seleção final de documentos, reúne-se e sintetiza-se a informação contida neles (Page, Moher, et al. 2021).

2.3.2 Questões de Investigação

Com este estudo pretende-se responder de forma preliminar às questões de investigação delineadas previamente, que se recordam serem as seguintes:

- Qual a potencialidade e eficácia do uso de Jogos e/ou Simuladores para aprendizagem?
- Quais as características de um simulador de condução que o tornam eficaz para a aprendizagem do Código da Estrada?

2.3.3 Critérios de inclusão/exclusão

Os critérios de inclusão usados na fase de triagem foram os seguintes:

- Detalha o desenvolvimento de um simulador de condução;
- Explora algum conceito relacionado com simuladores de condução.

Os critérios de exclusão usados na fase de triagem foram os seguintes:

- O foco do simulador não está no cumprimento de regras;
- O simulador aborda a condução de um outro tipo de veículo;
- O simulador tem um baixo nível de complexidade;
- Descreve aspetos exteriores ao *software* do simulador;
- Não trata de um simulador de condução.

2.3.4 Fontes de Informação

As fontes de informação consultadas para a pesquisa estão indicadas na Tabela 3.

Tabela 3: Fontes de informação consultadas

Fonte	URL
IEEE Xplore	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
ACM Digital Library	https://dl.acm.org/

2.3.5 Detalhes de Pesquisa

A *string* de pesquisa usada para procurar documentos nas fontes de informação referidas foi a seguinte:

("game" OR "serious game" OR simulator) AND (teaching OR learning) AND ("driving" OR "traffic code") AND (NOT (reinforcement OR auto* OR "machine learning" OR predict*))

O método usado para a criação da *string* de pesquisa foi empírico e iterativo. Em primeiro lugar, foram selecionadas palavras-chave relacionadas com o tema e depois foram adicionadas palavras-chave para eliminar resultados indesejados, de modo a obter uma lista mais relevante.

A Figura 7 mostra como a pesquisa foi efetuada no IEEE Xplore.

Advanced Search ?

Advanced Search	Command Search	Citation Search	
Enter keywords and select fields.			
Search Term	"game" OR "serious game" OR simulator	in All Metadata ?	
AND	Search Term	teaching OR learning	in All Metadata ↑ ×
AND	Search Term	"driving" OR "traffic code"	in All Metadata ↑ ×
NOT	Search Term	reinforcement OR auto* OR "machine learning" OR predict*	in All Metadata ↑ × +

Figura 7: Pesquisa sobre trabalhos relacionados no IEEE Xplore

A Figura 8 mostra como a pesquisa foi efetuada na ACM Digital Library.

Advanced Search

Search

Search anything within the ACM Digital Library or go to your [Saved Searches](#)

Search items from:	
The ACM Full-Text collection	▼ i
Search Within i	
Abstract ▼	"game" OR "serious game" OR simulator +
Abstract ▼	teaching OR learning -
Abstract ▼	"driving" OR "traffic code" -
Abstract ▼	NOT (reinforcement OR auto* OR "machine learning" OR predict*) -

Figura 8: Pesquisa sobre trabalhos relacionados na ACM Digital Library

2.3.6 Resultados da Pesquisa

A Figura 9 mostra os resultados da aplicação da metodologia PRISMA para a pesquisa relativa a trabalhos relacionados.

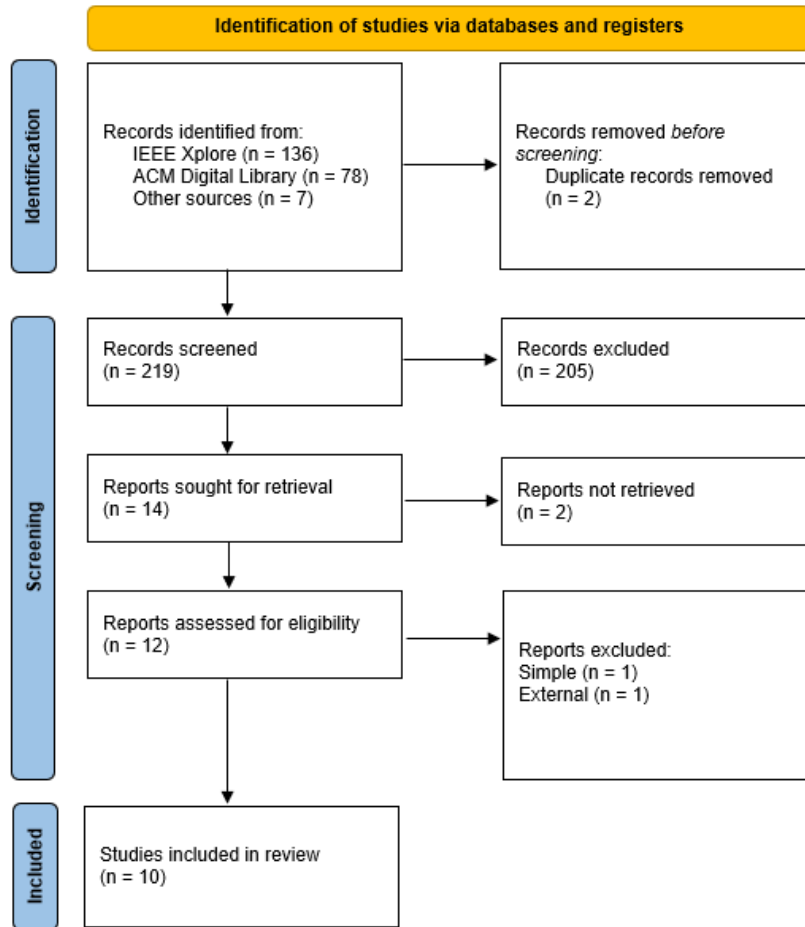


Figura 9: Resultados da pesquisa de trabalhos relacionados. Adaptado de Page, McKenzie, et al. (2021)

2.3.7 Síntese da informação recolhida

O trabalho de Topol & Malý (2023) tenta reproduzir uma experiência realista, através de um assento composto por partes reais de automóveis, com uma visualização por três monitores. Eles implementaram um assistente auditivo de condução que reage às ações e erros do utilizador, fornecendo avisos e *feedback*. Também avaliam a atenção do utilizador aos diferentes elementos (como indicadores do veículo ou sinalização na estrada), através de câmaras que seguem o movimento dos olhos. Para além disso, têm um sistema que seleciona situações de trânsito individualizadas, direcionadas às dificuldades encontradas do utilizador. Quanto à eficácia, eles esperam que estas inovações tenham um impacto positivo na aprendizagem, porém, na data da publicação, a fase de testes estava apenas planeada.

Fung et al. (2023) desenvolveram um simulador de condução para dispositivos móveis. O simulador tem três modos: condução livre, tutoriais e teste. O teste só é desbloqueado após o jogador concluir todos os níveis de tutorial e tem uma *leaderboard* associada. Neste modo,

o jogador começa com 100 pontos, e perde um ponto com cada erro cometido, sendo necessário pelo menos 90 pontos para passar. Outras características interessantes são o *feedback* recebido nos erros cometidos e o facto do mapa de jogo representar a cidade real de Hong Kong. Em termos de eficácia de aprendizagem, 50% dos participantes da avaliação classificaram a aplicação com 5/5 e 40% com 4/5. A Figura 10 mostra a interface de jogabilidade.



Figura 10: Simulador para dispositivos móveis. Retirado de Fung et al. (2023).

Johnson et al. (2022) elaboraram um simulador de condução com mapa e obstáculos predefinidos. De modo a abranger algumas situações comuns, o mapa inclui uma zona residencial, um mercado e um parque de estacionamento. Durante a simulação, o jogador recebe avisos sobre os desafios à medida que estes surgem. Também permite mudar entre a primeira e a terceira pessoa com um botão. Indicam as ferramentas usadas tanto no desenvolvimento da componente de *software* (modelação, código, áudio) como de hardware (dispositivos de input). Eles afirmam que o simulador desenvolvido ajuda os utilizadores a tornarem-se mais confiantes, porém não disponibilizam dados concretos de avaliação. A Figura 11 exemplifica o plano de visão do jogador, tanto na primeira pessoa (dentro do veículo), como na terceira pessoa (fora do veículo).

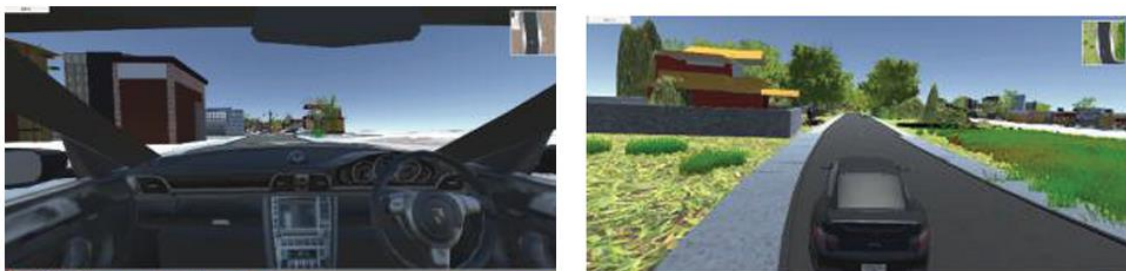


Figura 11: Vista dentro (esquerda) e fora (direita) do veículo. Retiradas de Johnson et al. (2022).

Abdullah et al. (2022) fizeram um simulador em realidade virtual. Indicam que a aplicação foi feita em *Unity*, com objetos modelados na ferramenta Blender. O simulador em si está separado em dois modos. O primeiro consiste numa sequência predeterminada de aprendizagem, seguindo uma abordagem baseada em jogos tradicionais. O segundo tenta replicar uma experiência mais realista de condução, envolvendo diversos elementos, como elevado trânsito e uma área residencial. Relativamente à avaliação, concluíram que a aplicação ajuda os utilizadores a melhorarem as suas capacidades de condução.

O objetivo de Jaunoo & Nagowah (2022) foi introduzir gamificação na aprendizagem de segurança rodoviária, tanto para condutores como para peões. Para tal, desenvolveram uma aplicação Android com três minijogos para cada categoria de utilizador, disponibilizando também um livro de regras. Os jogos incluem um *quiz* de perguntas de escolha múltipla e um jogo de letras onde se tem de identificar o objeto apresentado em imagens. Estes primeiros jogos estão presentes em ambas as categorias, mudando apenas o conteúdo das perguntas. O terceiro jogo para os condutores é um simulador de condução, onde o jogador tem de navegar através de uma cidade, até chegar ao destino. Durante a simulação, são obtidos pontos para recompensar boa condução, ou perdidos quando ocorre violação de uma regra ou sinal. O terceiro jogo para peões consiste em atravessar estradas evitando os automóveis que passam. Em termos de atingir os objetivos de aprendizagem, os utilizadores avaliaram a aplicação com 4/5. A Figura 12 esquematiza a lista de atividades da aplicação, enquanto a Figura 13 apresenta o simulador de condução.

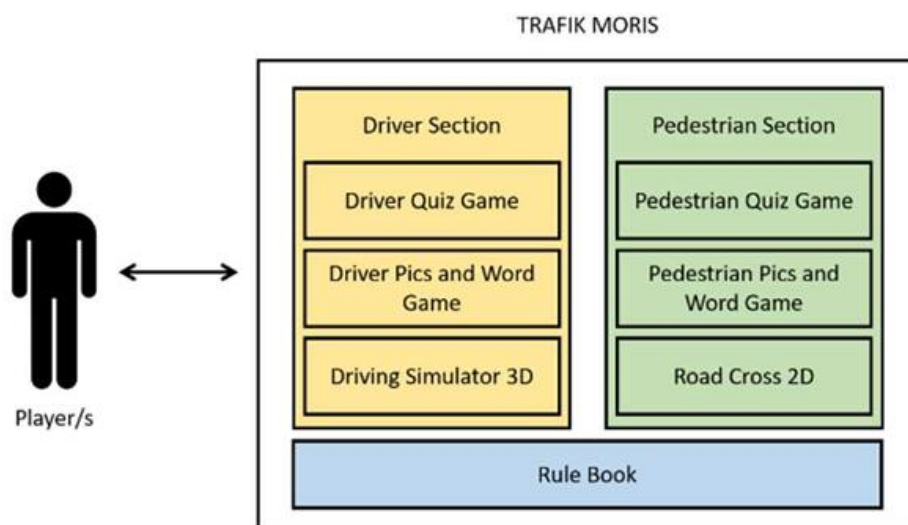


Figura 12: Lista de atividades da aplicação Trafik Moris. Retirado de Jaunoo & Nagowah (2022).



Figura 13: Simulador de condução da aplicação Trafik Moris. Retirado Jaunoo & Nagowah (2022).

Kopciak et al. (2016) desenvolveram um simulador de condução com assento próprio e em realidade virtual. O sistema dispõe de um volante, pedais e caixa de mudanças para controlar o automóvel e um *Oculus Rift* para visualizar o mundo do jogo. É possível explorar uma cidade livremente ou seguindo objetivos, deparando-se com diversas situações de trânsito. O utilizador é guiado por um assistente computacional, que desempenha a função de instrutor, dando instruções e *feedback*. Para indicar o caminho, o assistente pode colocar setas flutuantes no mundo do jogo, ou anunciar direções e mostrar uma seta no seu ecrã, dependendo da preferência do utilizador. Ambas as opções estão ilustradas na Figura 14. Quanto a resultados, 74% dos participantes disseram que o simulador seria útil para ser usado em escolas de condução

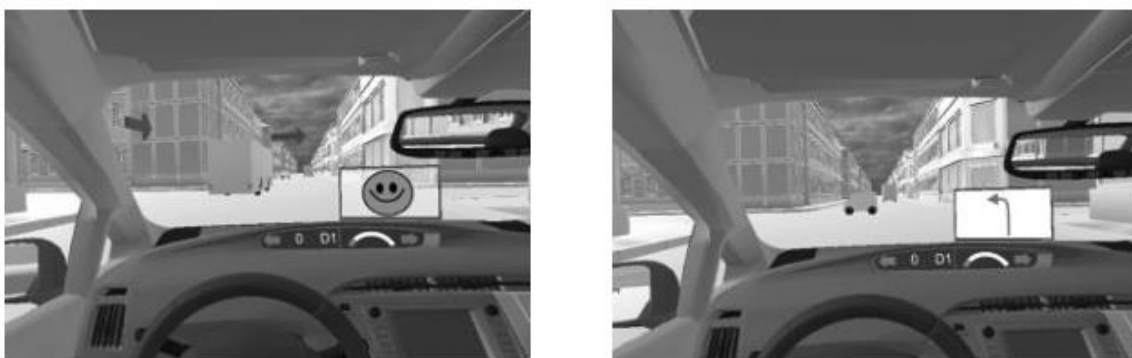


Figura 14: Direções com setas flutuantes (esquerda) e ecrã (direita). Retiradas de Kopciak et al. (2016).

Rodrigues et al. (2015) Desenvolveram um jogo educativo sobre regras e sinais de trânsito cuja principal característica é poder ser jogado usando diversos dispositivos. As possibilidades implementadas são as seguintes: teclado, volante, joystick, telemóvel ou tablet. Nos casos destes dois últimos, uma aplicação foi criada que mostra e simula os controlos do veículo. Em

termos de resultados, os participantes avaliaram o jogo tendo em conta diversos critérios, dando uma classificação média de cerca de 80%. A Figura 15 mostra o uso dos vários dispositivos.



Figura 15: Simulador controlado por dispositivos diferentes. Retirado de Rodrigues et al. (2015).

Outro trabalho relacionado é o de Nogueira (2014). Ele fez um simulador que disponibiliza um editor de situações de trânsito, sendo possível adicionar elementos como veículos e sinalizações ao cenário e configurá-los. As situações disponíveis envolvem rotundas, cruzamentos ou entroncamentos. O simulador automaticamente determina a prioridade de cada veículo, de modo a saber por que ordem estes devem avançar. No fim do processo de edição, é possível iniciar a simulação, com a possibilidade de a ver do ponto de vista de um dos condutores. Foi efetuado um inquérito, no qual 95% dos inquiridos responderam que teria sido útil terem acesso a esta ferramenta na escola de condução. A Figura 16 demonstra as opções disponíveis para configurar um automóvel e um semáforo.

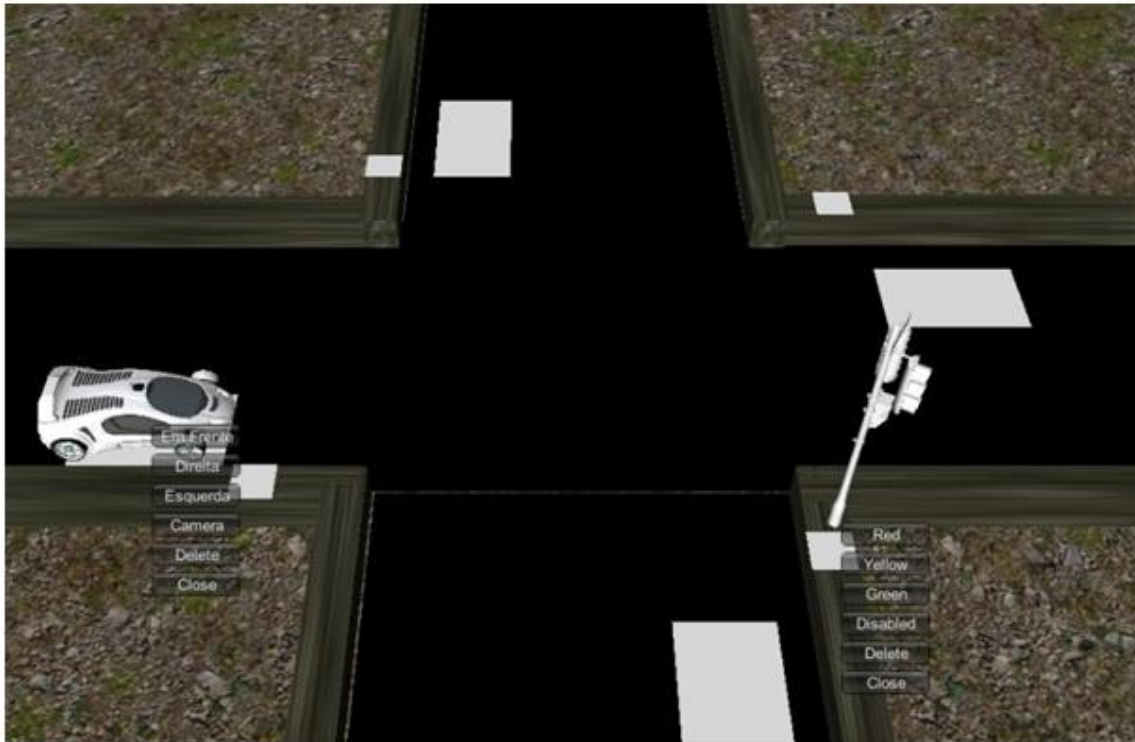


Figura 16: Editor de situações de trânsito. Retirado de Nogueira (2014).

O simulador de Kandhai et al. (2011) tem a vantagem de ser multiplataforma, tendo versões para Windows, Mac, Browser e Android. O seu mapa de jogo representa a cidade real de Arima, contribuindo para o realismo e imersão. Para além disso, os peões e os outros veículos ocasionalmente cometem erros (ex.: atravessar fora da passadeira, não sinalizar mudança de direção), para melhor preparar os utilizadores para situações inesperadas. Adicionalmente, a simulação pode decorrer em diferentes condições de visibilidade, nomeadamente dia ou noite, com possibilidade de chuva. Foi efetuado um inquérito de avaliação, porém este não envolvia o critério de aprendizagem. A Figura 17 ilustra a visualização do utilizador e o aspeto gráfico do cenário.



Figura 17: Visualização do jogador (esquerda) e cenário (direita). Retiradas de Kandhai et al. (2011).

O trabalho de Wassink et al. (2006) lida com a ocorrência de eventos predeterminados no mundo dinâmico do jogo. Para tal, explora uma forma das entidades do mundo reagirem às ações do jogador, através de uma abordagem baseada em agentes. Com isto, pretende-se que o jogador seja deparado com circunstâncias interessantes mais frequentemente, sem depender tanto do acaso ou de localizações fixas. Implementaram esta modificação num simulador existente, mas não foi realizado um inquérito de avaliação.

2.3.8 Resposta Preliminar às Questões de Investigação

Os jogos e simuladores são úteis na aprendizagem de diversas áreas, incluindo a condução. A sua potencialidade para este fim deve-se à possibilitação da prática segura e repetível de situações que de outra forma envolveriam consequências e custos reais. A pesquisa realizada sugere que eles têm uma eficácia considerável, tendo os inquéritos de avaliação resultado em apreciações superiores a 70%. Esta eficácia advém de diferentes características impulsionadoras da aprendizagem. Elas incluem ajuste dinâmico de dificuldade, pontuação, zonas e situações comuns, mensagens de infrações, instruções de direção, diferentes dispositivos de *input*, editor de mapas, multiplataforma e reação às ações do utilizador.

2.4 Motores de Jogos e Simuladores

Esta secção tem como intuito explorar algumas ferramentas disponíveis que podem ser usadas na elaboração de um simulador de condução. Esta pesquisa é útil para fazer uma escolha fundamentada do motor de jogo a usar.

Os motores de jogos simplificam o processo de desenvolvimento, disponibilizando soluções para diversos aspetos essenciais. Algumas funcionalidades comuns incluem *rendering*, física, *scripting*, animação e editor de mapas (Cowan & Kapralos 2014).

2.4.1 Unity

Unity, da *Unity Technologies*, é um motor de jogos 2D e 3D que suporta diversas plataformas, como consolas de jogos, desktops, e dispositivos móveis. A linguagem de programação usada nos scripts é C#. (Singh & Kaur 2022). Alternativamente, também dispõe de um sistema denominado *Visual Scripting*, que permite aos não-programadores criar lógica de jogabilidade (Soni & Kaur 2024). É considerado um motor de jogo com uma curva de aprendizagem relativamente baixa (Ali & Usman 2016). Ele conta com diversos recursos online, originados não só de documentação oficial, como de uma vasta e ativa comunidade. Porém, as

funcionalidades podem ser relativamente básicas em certos aspetos, como na reprodução de *media* (vídeo e som) ou na qualidade gráfica. (Vohera et al. 2021).

2.4.2 Unreal

Unreal é um motor de jogos desenvolvido pela *Epic Games*. Caracteriza-se por um elevado nível de realismo na visualização, vegetação e criação de terreno. Disponibiliza um sistema de *scripting* visual, denominado *Blueprint*, baseado em grafos de blocos interligados, como uma alternativa a escrever código em C++ (Šmíd 2017). Semelhante ao *Unity*, permite construir jogos 2D e 3D, e tem uma loja própria de assets para jogos (Andrade 2015). É considerado um motor de jogos com uma curva de aprendizagem relativamente alta (Ali & Usman 2016). De modo a maximizar a flexibilidade e personalização, o *Unreal* permite aos seus utilizadores aceder e modificar o código fonte do próprio motor (Vasudevamurt & Uskov 2015).

2.4.3 Godot

Godot é um motor de jogos 2D e 3D *open-source* desenvolvido e mantido por uma comunidade de contribuidores independentes. Usa uma linguagem de programação própria, chamada *GScript*. Em vez de usar uma abordagem por componentes como *Unity* ou *Unreal*, o *Godot* usa uma organização baseada em diferentes classes de objetos chamados nodes. Os nodes estão associados a objetos e podem ser de vários tipos, como gráficos, física, *user interface* (UI) ou áudio (Salmela 2022). Para além da sua linguagem *GScript*, também dispõe suporte oficial para as seguintes linguagens: C#, C e C++. É bastante acessível, pois é completamente grátis e não requer instalação para começar a trabalhar (Sharif & Yousif Ameen 2021).

2.4.4 Comparação

Com base na informação recolhida, foi elaborada a Tabela 4, que compara os motores de jogos analisados usando três critérios. Os critérios são os seguintes: qualidade gráfica, abrangência de funcionalidades, complexidade de aprendizagem e disponibilidade de recursos online.

Tabela 4: Comparação de motores de jogos.

	Qualidade Gráfica	Abrangência de Funcionalidades	Complexidade de Aprendizagem	Disponibilidade de recursos online
Unity	Média	Média	Média	Alta
Unreal	Alta	Alta	Alta	Média
Godot	Alta	Baixa	Baixa	Média

A partir da tabela anterior, pode-se resumir as vantagens e desvantagens de cada motor analisado. O *Unity* apresenta características medianas, mas a sua popularidade implica uma alargada diversidade de informação existente. O *Unreal* tem as maiores potencialidades, mas requer mais experiência para tirar maior proveito delas. O *Godot* é útil quando se pretende atingir um bom aspeto gráfico de forma mais simples.

2.5 Conclusões sobre o Estado da Arte

Nesta secção, são apresentadas as principais conclusões retiradas da pesquisa efetuada, indicando as decisões realizadas a partir dela e justificando a realização do projeto.

A partir desta pesquisa, depreende-se que o Código da Estrada tem uma certa complexidade. Como tal, as escolas de condução deparam-se com o desafio de transmitir uma vasta quantidade de informação aos seus alunos, sem que este processo se prolongue no tempo. Para atingir este objetivo, tiram partido de diversas formas de ensino, incluindo métodos informáticos como a simulação.

Os simuladores têm emergido como uma ferramenta eficaz de aprendizagem nos mais variados assuntos. No tema deste projeto em particular, foram analisados diversos trabalhos relacionados, tendo cada um seguido uma abordagem diferente. Alguns caracterizam-se pelo uso de realidade virtual, outros pelos mapas realistas, ou até pela apresentação de desafios dirigidos às dificuldades do utilizador, por exemplo. Uma possível lacuna encontrada seria a não exploração da geração dinâmica de conteúdo.

Portanto, poderia ser interessante haver um simulador acessível que permitisse aos candidatos a condutor uma aprendizagem autónoma, percorrendo mapas variados enquanto recebem *feedback* automático. As variações dos mapas têm especial interesse, uma vez que desafia e treina o condutor a reagir em tempo real às situações apresentadas, não podendo este recorrer a conhecimento prévio da zona.

Foram considerados alguns motores de jogos para a implementação do simulador. Entre os quais, optou-se pelo *Unity*. Esta escolha deve-se às seguintes razões: o projeto não requer um elevado realismo nos gráficos; o motor disponibiliza funcionalidades suficientes para responder aos problemas do projeto; não é demasiado complexo, permitindo um desenvolvimento rápido; e a elevada disponibilidade de informação online permite esclarecer eventuais dúvidas.

3 Desenho do Simulador

Este capítulo apresenta a especificação do simulador. Começa pela formulação dos requisitos resultantes da análise do problema. Em seguida, descreve a estrutura em termos dos ecrãs constituintes. Depois, enumera as regras e sinais de trânsito selecionadas para implementação. Posteriormente, indica os elementos presentes na simulação. Seguidamente, aborda a construção dos percursos de exame. Por fim, detalha a jogabilidade disponibilizada ao utilizador.

3.1 Análise do Problema

Nesta secção são apresentados os requisitos definidos para a criação de um simulador de condução direcionado à aprendizagem da condução de automóvel ligeiro em vias públicas.

Requisitos do simulador:

- Disponibilizar exames de curta duração (entre um minuto e meio a seis minutos), para evitar perder a atenção do utilizador;
- Apresentar trajetórias aleatórias para manter o interesse do utilizador e melhor treinar a sua capacidade de reação face a cenários imprevisíveis.
- Ter cenário 3D representativo de uma zona urbana, para maior semelhança com o exame prático real;
- Usar uma condução simplificada. Isto permite que as pessoas sem experiência da condução real (como os alunos das aulas teóricas) também possam usufruir do simulador.
- Fornecer feedback imediato dos erros de condução cometidos, para maximizar a aprendizagem;
- Mostrar a pontuação e resultado (aprovação/reprovação) obtidos no fim de cada tentativa. Isto funciona como um objetivo a atingir, motivando o utilizador para ter progressivamente melhores resultados;

3.2 Estrutura do Simulador

Esta secção mostra a estrutura geral do simulador, na perspetiva dos ecrãs constituintes.

A Figura 18 apresenta o fluxograma dos ecrãs. Quando se abre o simulador vê-se uma imagem de apresentação. Passado alguns segundos aparece o menu principal. Antes da execução terminar são apresentados os créditos.

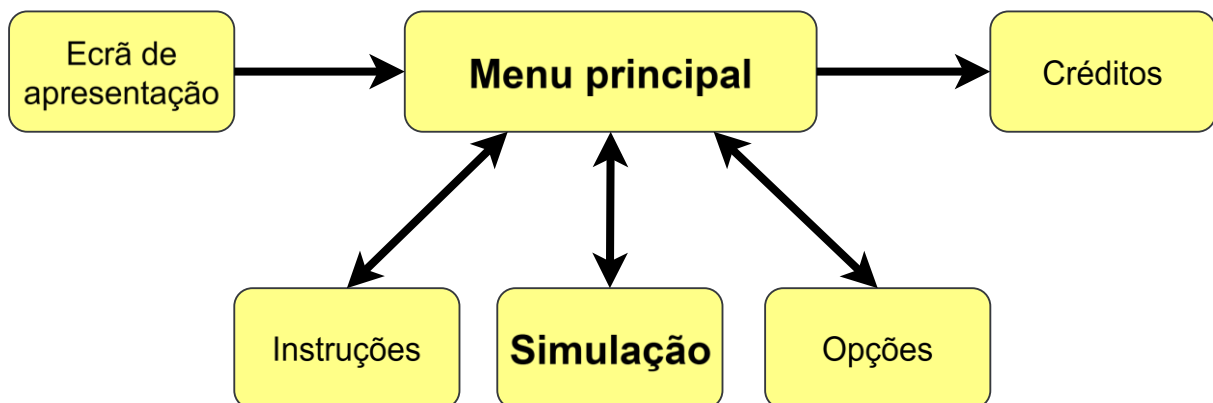


Figura 18: Fluxograma dos ecrãs do simulador.

A Figura 19 mostra o menu principal. Aqui o utilizador pode iniciar uma simulação que pode ser curta, média ou longa. Outras opções disponíveis incluem navegar para o ecrã de instruções, de opções, ou terminar a execução.



Figura 19: Menu principal do simulador.

A Figura 20 mostra o ecrã de instruções, onde pode-se ver a lista de controlos disponíveis durante a simulação.

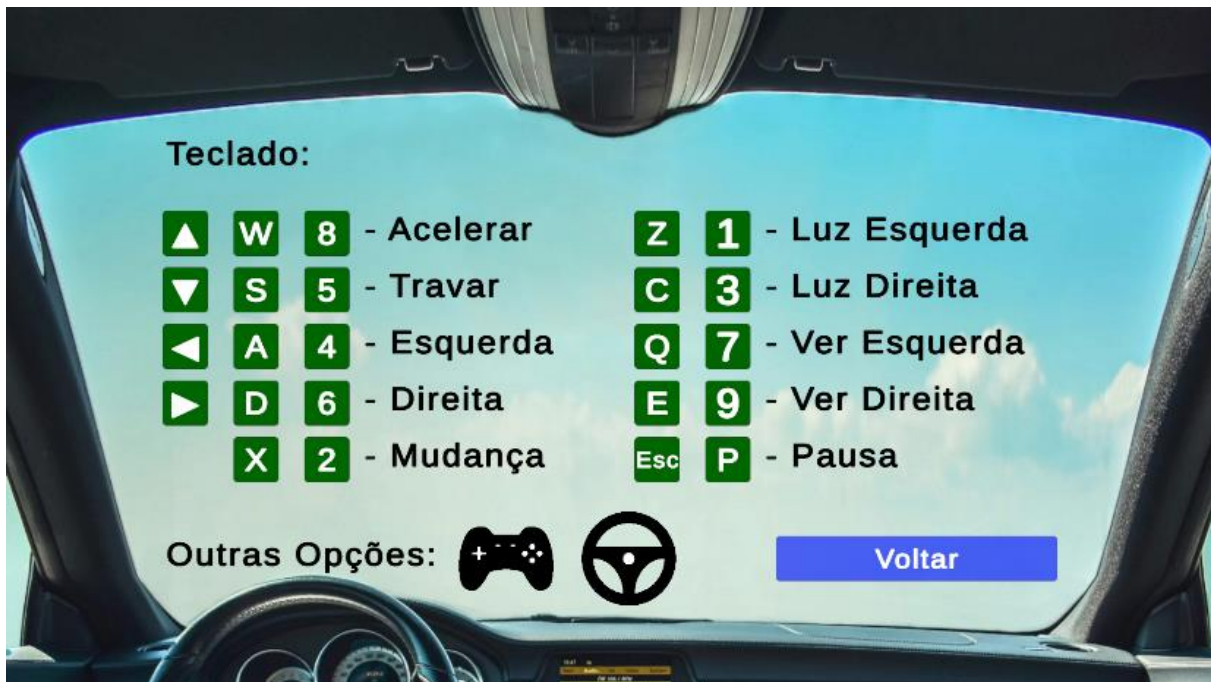


Figura 20: Lista de controlos disponíveis.

A Figura 21 mostra o ecrã da simulação propriamente dita. Pode-se ver o automóvel do utilizador e o velocímetro (no canto inferior esquerdo).



Figura 21: Ecrã da simulação.

A Figura 22 mostra o ecrã de opções. Neste ecrã pode-se escolher entre duas linguagens: português ou inglês. Também disponibiliza algumas opções de visualização.

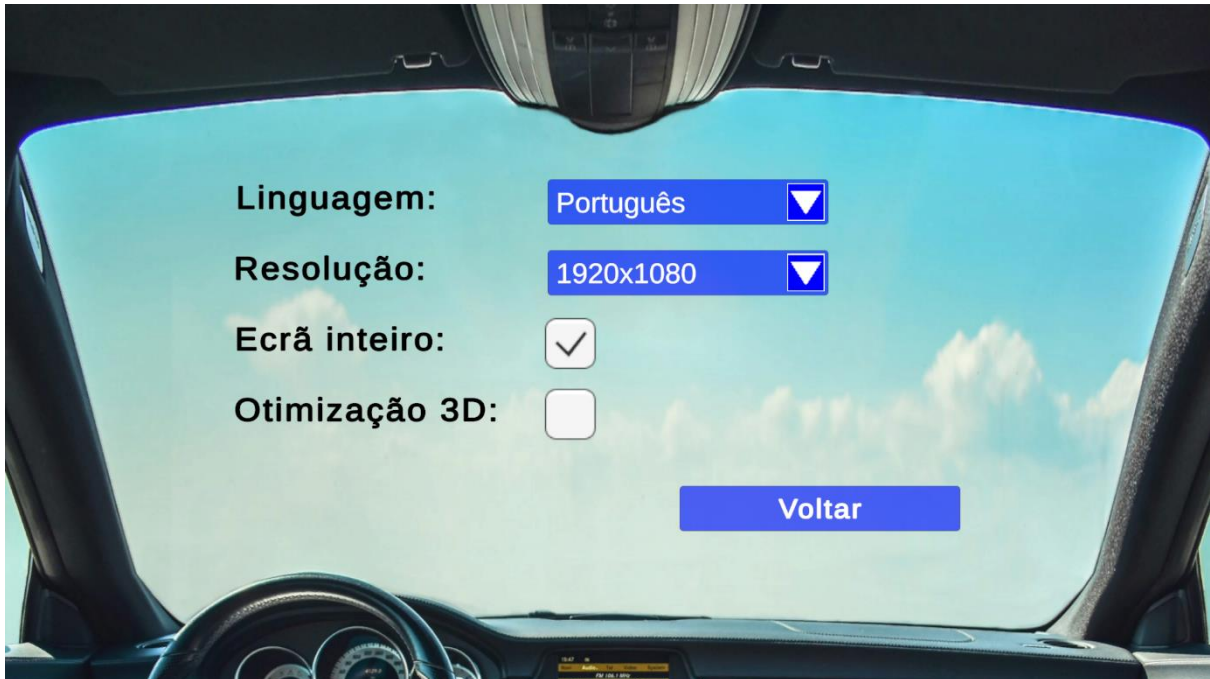


Figura 22: Menu de opções do simulador.

3.3 Regras e Sinais a implementar

Esta secção enumera as regras e sinais de trânsito previstas para implementação. Alguns dos quais foram classificados como essenciais e outros como menos prioritários. Procurou-se seleccionar os que mais comumente surgem no contexto de exames práticos.

Regras essenciais

- Não transitar contramão;
- Indicar a mudança de direcção ou de via através do uso de “pisca”;
- Ceder passagem ao trânsito vindo da direita.

Outras regras

- Não chocar contra outros veículos ou peões;
- Ultrapassar pela esquerda;
- Dar prioridade a veículos em marcha de emergência;
- Não sair da estrada.

Sinalização Vertical essencial

- STOP
- Triângulo
- Aproximação de rotunda
- Aproximação de uma passagem para peões
- Sentido Proibido
- Proibido exceder uma velocidade máxima
- Rotunda
- Sentido obrigatório (esquerda, direita, frente)
- Passagem para peões
- Via pública sem saída

Outra Sinalização Vertical

- Semáforo
- Prioridade nos estreitamentos da faixa de rodagem
- Cedência nos estreitamentos da faixa de rodagem
- Cruzamento/Entroncamento com via sem prioridade
- Proibido virar num sentido
- Proibição de ultrapassar
- Fim de proibição (de uma ou de todas)
- Curva perigosa
- Trânsito nos dois sentidos
- Obrigação de transitar a uma velocidade mínima
- Fim da obrigação de transitar a uma velocidade mínima
- Fim da obrigação de exceder uma velocidade máxima
- Trânsito de sentido único
- Velocidade Recomendada
- Fim da velocidade recomendada
- Número e sentido das vias de trânsito
- Supressão de via de trânsito
- Paragem de veículos de transporte coletivo de passageiros

Sinalização Horizontal essencial

- Linhas contínuas/tracejadas
- Passagem para peões

Outra Sinalização Horizontal

- Setas de seleção
- Setas de desvio

3.4 Elementos da Simulação

O cenário da simulação inclui os seguintes elementos: estrada (com sinalização horizontal), sinais de trânsito, semáforos, edifícios urbanos, veículos automóveis, peões e elementos decorativos. A Figura 23 exemplifica o cenário do simulador.



Figura 23: Exemplo de cenário do simulador.

Os *Non-Player Characters (NPCs)*, que incluem os outros veículos e os peões, seguem um plano de viagem, ao chegarem ao destino, podem parar ou recomeçar o percurso num ciclo interminável. Quando existem múltiplos veículos e peões a circular pelo mapa, existe a possibilidade de uns ocuparem o caminho de outros. De modo a evitar colisões, os veículos param quando encontram qualquer obstáculo diretamente à sua frente. Adicionalmente, existem situações nas quais alguns veículos têm prioridade sobre outros, como ocorre no sinal STOP, a entrar numa rotunda, ou nos semáforos. Nestas três situações, é necessário parar até que determinada condição se verifique. Nos casos do STOP e das rotundas, a condição consiste em verificar que o caminho está livre. No caso dos semáforos, a condição é a luz não se encontrar vermelha.

3.5 Percurso do Exame de Condução

O simulador gera aleatoriamente um trajeto de exame. O mapa pode ser gerado em três tamanhos diferentes: cinco, dez, ou quinze testes. Cada teste consiste numa situação de trânsito que o condutor tem de ultrapassar. Num exame real, pode haver trajetos que não

apresentam novos desafios para o condutor, mas estes mapas pretendem apresentar desafios contínuos. Para evitar que o utilizador se desvie demasiado do seu objetivo, o trajeto foca-se na zona do percurso do exame, e não no mapa completo de uma cidade. Na Figura 24 pode-se ver um mapa gerado pelo simulador.



Figura 24: Exemplo de mapa gerado pelo simulador.

Os mapas são criados automaticamente a partir de pequenos cenários predefinidos que visam testar o cumprimento de uma ou mais regras. Cada cenário, ou teste, tem associado uma ou mais variantes, com diferentes instruções e veículos. A aleatoriedade está presente nas seguintes formas: quais testes são selecionados, que variante de cada teste é selecionada, por que ordem aparecem as variantes selecionadas e no tempo de espera dos veículos e peões presentes em cada teste. De modo a obter-se um conjunto equilibrado e diversificado de situações de trânsito, os testes foram agrupados em conjuntos de acordo com as suas semelhanças. O número de testes retirados de cada conjunto depende do tamanho de mapa pedido pelo utilizador. Tendo efetuada a seleção de testes, estes são colocados no mapa uns a seguir aos outros. O número de cenários de teste individuais implementados foi 29.

3.6 Jogabilidade

A jogabilidade consiste na condução simplificada de um automóvel ligeiro. O utilizador tem disponível as seguintes ações: acelerar, travar, virar para esquerda, virar para a direita, mudança (frente ou marcha atrás), luzes de sinalização de mudança de direção, olhar para a esquerda ou para a direita e pausa. A visualização da simulação é feita em terceira pessoa, de modo a permitir uma maior visibilidade do ambiente 3D do simulador. O simulador tem suporte para três categorias de dispositivos de input: teclado, *gamepad* e volante. As três alternativas estão exemplificadas na Figura 25.



Figura 25: Alternativas de controlo do simulador.

O objetivo é chegar ao fim do percurso de exame. A fim de guiar a viagem do utilizador pelo mapa, são fornecidas ordens de direção visuais e vocais. Quando o utilizador não recebe instruções deve seguir o caminho por omissão apropriado. Na Figura 26, pode-se ver a aparência destas indicações no simulador.



Figura 26: Exemplo de ordem de direção.

Durante o trajeto, o utilizador tem de seguir as regras e sinais de trânsito. Sempre que este comete uma infração (incluindo desobedecer a uma ordem de direção), recebe uma mensagem explicativa do erro. Por exemplo, na situação retratada pela Figura 27, o utilizador não cedeu prioridade ao veículo à direita num cruzamento sem sinalização.



Figura 27: Exemplo de mensagem de infração.

No fim da simulação, é apresentado o quadro de resultados, que inclui informação sobre o número de infrações cometidas, a pontuação final e a aprovação ou reprovação do utilizador. O utilizador começa com 100 pontos, e perde pontos sempre que comete uma infração, sendo que infrações mais graves deduzem mais pontos. Para o utilizador passar no exame, a sua pontuação final tem de ser superior a zero. A Figura 28 exemplifica o quadro de resultados.

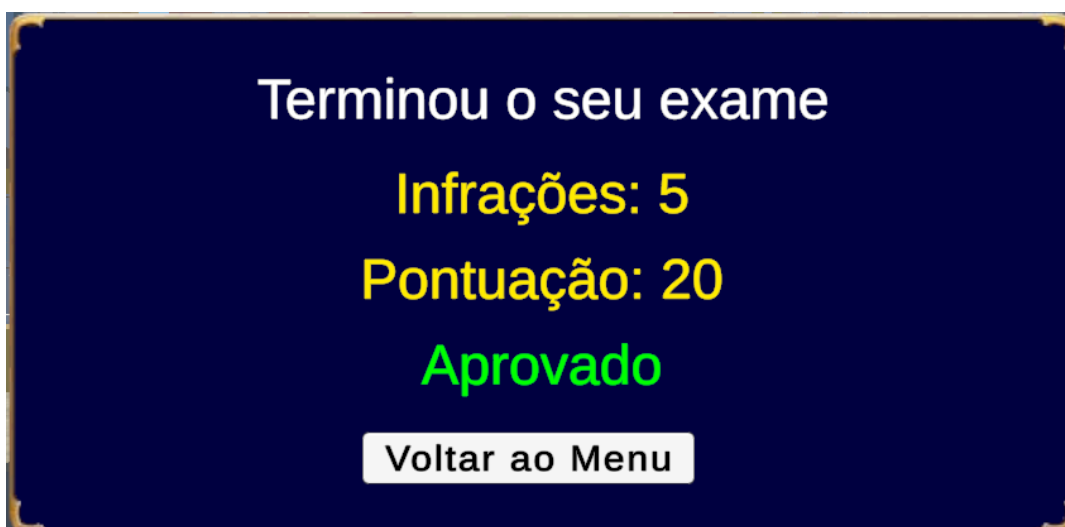


Figura 28: Quadro de resultados da simulação.

4 Implementação do Simulador

Este capítulo descreve a implementação do simulador. Primeiro apresentam-se as ferramentas usadas, depois são detalhadas a implementação das regras e sinais de trânsito, dos diferentes objetos incluídos, da geração dos percursos de exame e da jogabilidade.

4.1 Ferramentas utilizadas

O simulador foi implementado usando o motor de jogo *Unity* (versão 6), com linguagem C# e IDE (*Integrated Development Environment*) Visual Studio (com sugestões do GitHub Copilot). O controlo de versões foi assegurado pelo software *Plastic SCM*. Para a construção do cenário foram apenas usados *assets* gratuitos disponíveis na loja do *Unity*, e outros que foram criados conforme as necessidades. A interface de trabalho do *Unity*, também designada por editor, está exemplificada na Figura 29.

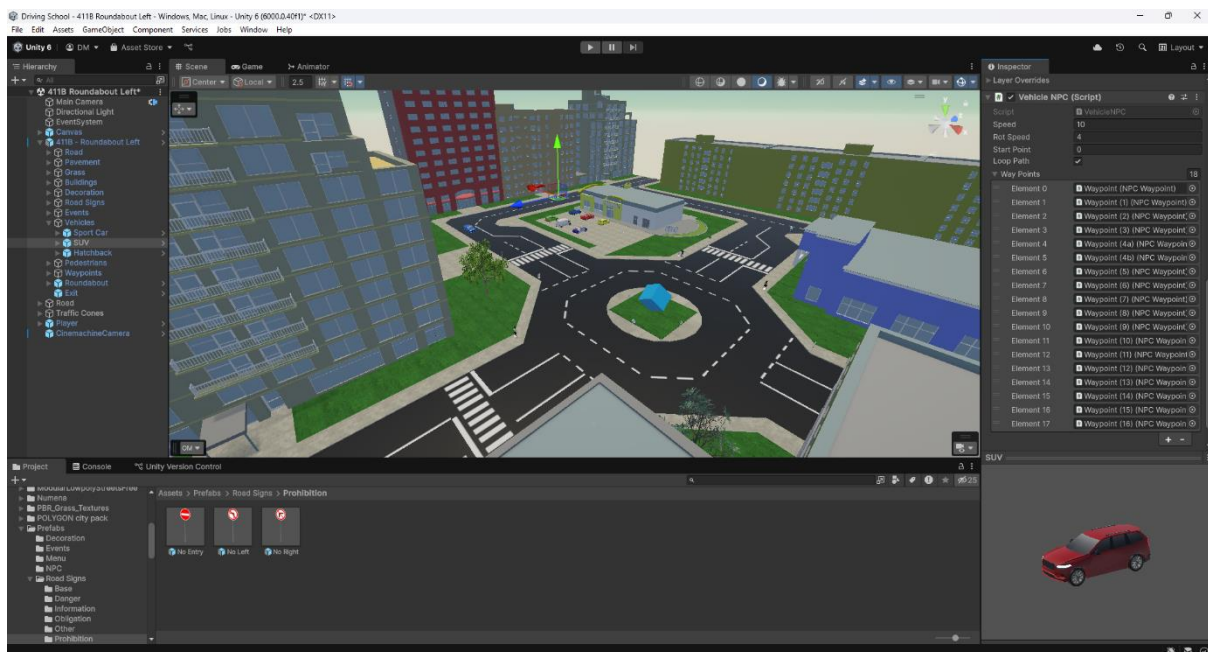


Figura 29: Editor do *Unity*.

Na figura anterior é possível ver as seguintes divisões: a hierarquia de objetos (à esquerda), a visualização da cena atual (no centro), o inspetor do objeto selecionado (à direita) e os *assets* no disco (em baixo).

4.2 Regras e Sinais implementados

Os sinais de trânsito foram modelados no *Unity* com objetos básicos. Deste modo, foram criados 6 tipos diferentes de sinais, um para cada formato, como pode ser visto na Figura 30.

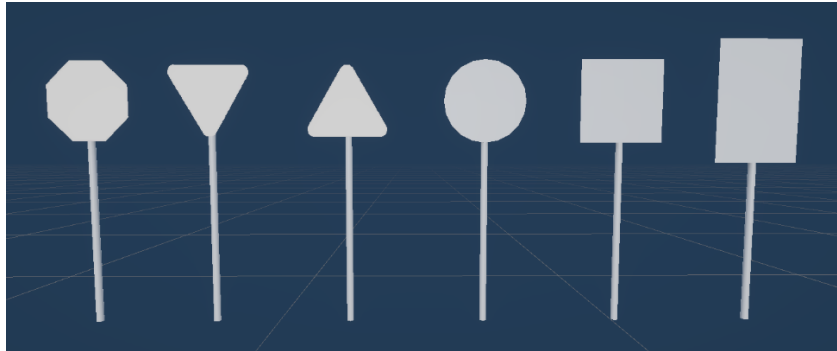


Figura 30: Formas base dos sinais de trânsito.

A partir destes objetos base, foram criados os objetos finais aplicando uma textura com a imagem do sinal respectivo. A Figura 31 mostra o resultado para um sinal de cada formato.



Figura 31: Formas base com texturas aplicadas.

Na Tabela 5, pode-se ver os 16 sinais usados nos cenários de simulação.

Tabela 5: Lista de sinais implementados.

Sinal	Descrição	Sinal	Descrição
	STOP		Triângulo
	Sentido proibido		Proibido virar à esquerda
	Proibido virar à direita		
	Entroncamento com via sem prioridade (direita)		Trânsito nos dois sentidos
	Aproximação de rotunda		

	Obrigatório virar à direita		Obrigatório virar à esquerda
	Obrigatório seguir em frente		Rotunda
	Trânsito de sentido único		Via pública sem saída
	Passagem para peões		Paragem de autocarros

O cumprimento das regras é verificado através de eventos na estrada que detetam a presença do jogador ou de outros objetos. Estes eventos foram criados como objetos invisíveis, constituídos apenas por um *collider* (geralmente em forma de caixa) e um script. O *collider* define o tamanho da área de verificação e invoca automaticamente os métodos de entrada, permanência e saída de um objeto na área, caso estes estejam definidos em algum script associado. O comportamento usual de um *Collider* implicaria colisões físicas, o que não seria desejado nestes casos. Porém, para situações como esta onde se pretende apenas detetar objetos, pode-se recorrer à configuração “*Is Trigger*”.

A Figura 32 exemplifica a aparência dos eventos no cenário, quando são seleccionados no editor. É possível visualizar a área do *collider* seleccionado com linhas verdes que delimitam a forma de uma caixa e a orientação do objeto com setas coloridas, uma para cada eixo.

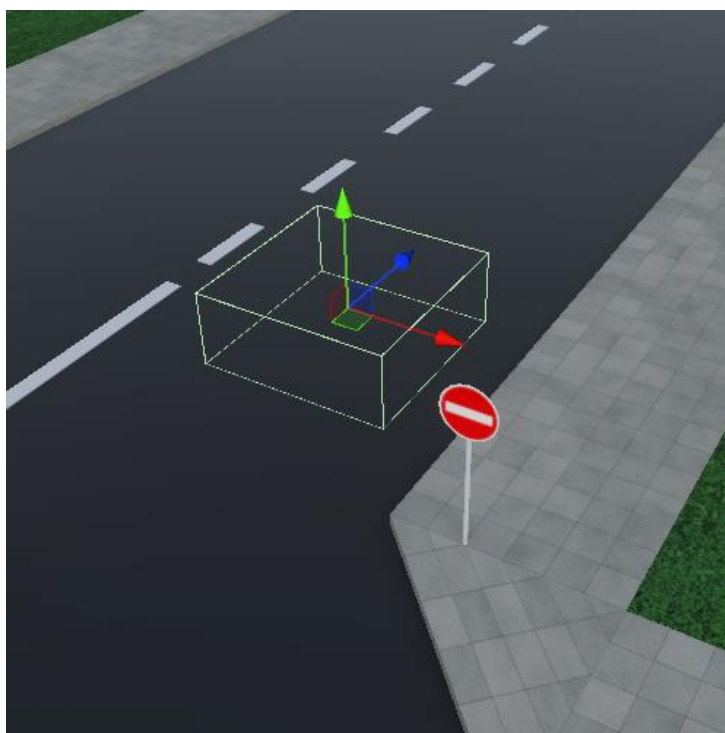


Figura 32: Exemplo de um evento no cenário.

O evento representado na figura anterior corresponde à verificação do sinal de sentido proibido. De modo a agilizar o desenvolvimento, em sinais de trânsito que apresentam consistentemente verificações iguais e na mesma posição relativa, os eventos foram associados diretamente ao próprio sinal. Quando o jogador entra na área enquanto está virado para o sentido do evento (ver a seta azul) é despoletado um evento de infração, envolvendo uma mensagem para mostrar ao jogador e uma dedução de pontos. A Figura 33 mostra a configuração do evento de entrada num sentido proibido.

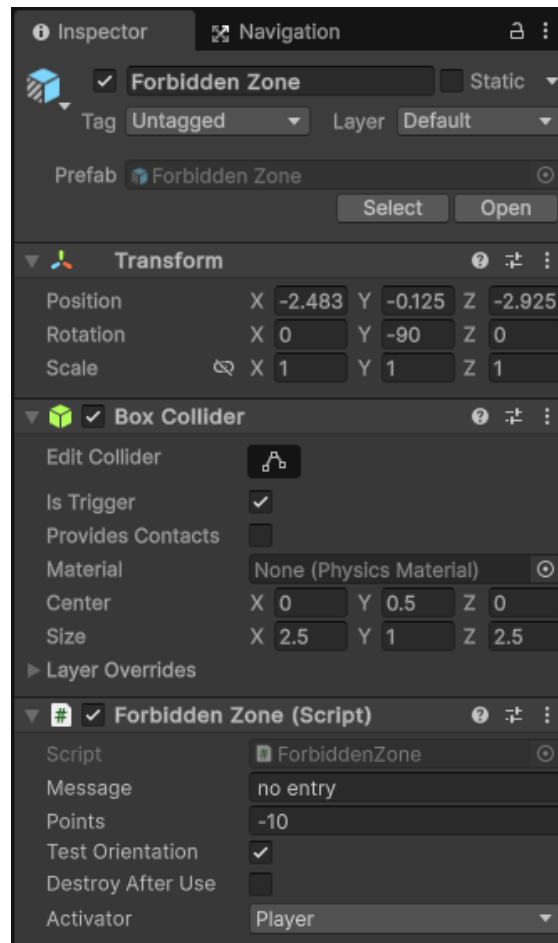


Figura 33: Configuração do evento de sentido proibido.

Note-se que o script que processa o evento foi feito para abranger mais situações semelhantes, sendo configurado em cada uma de acordo com as suas características. Adicionalmente, a mensagem indicada não está na forma que será apresentada ao utilizador, trata-se de uma simplificação que passará por um tradutor com a lista de textos em português e em inglês. Realça-se ainda que os pontos são internamente guardados de zero a dez, sendo que no fim serão apresentados na escala de zero a cem. O Excerto de Código 1 detalha o processamento do evento.

```

void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.CompareTag(targetTag) &&
        (!testOrientation || IsObjectFacingZone(other.transform.parent)))
    {
        messages.ShowDangerMessage(message, points);

        if (destroyAfterUse)
        {
            Destroy(gameObject);
        }
    }
}

```

Excerto de Código 1: Infração numa zona proibida.

A verificação do uso de luzes de sinalização de mudança de direção (comumente designadas por “pisca”), foi implementada de duas formas, uma para cruzamentos ou entroncamentos e outra para as restantes situações.

Para saber qual é a luz certa nos cruzamentos e entroncamentos, é necessário saber não só por onde o jogador saiu, mas também de onde entrou. Tendo isto em conta, foi criado um objeto constituído por quatro pares de eventos, uma entrada e uma saída, que verificam, à saída, se a luz correta esteve acesa e desligam-na automaticamente. A Figura 34 mostra os quatro pares de áreas no editor.

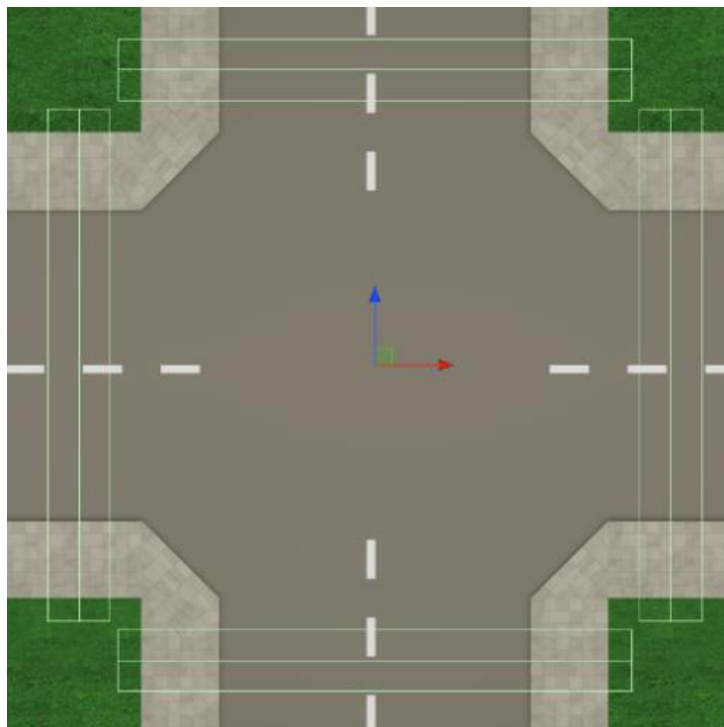


Figura 34: Verificação de luzes no cruzamento.

O Excerto de Código 2 mostra a implementação desta verificação. O processamento é realizado no objeto pai anteriormente referido, o qual recebe a informação necessária pelos objetos filhos que detetam a passagem do jogador. O valor de retorno indica se as luzes devem ser desligadas.

```
public bool Exit(int number, TurnLightState light)
{
    exit = number;
    exitLight = light;

    if (entry != 0)
    {
        bool ok;

        if (entryLight != exitLight)
        {
            ok = false;
        }
        else
        {
            TurnLightState turn = ExitCheckTurn();
            ok = exitLight == turn;
        }

        if (!ok)
        {
            messages.ShowDangerMessage("turn light error", -2);
        }

        ResetValues();
        return true;
    }

    return false;
}
```

Excerto de Código 2: Verificação de luzes nos cruzamentos.

Para os restantes casos, foi criado um *script* que verifica se o jogador tem a luz esperada ligada quando entra no *collider* de um evento. Ele pode ser inspecionado no Excerto de Código 3.

```
void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.CompareTag(playerTag) &&
        IsObjectFacingZone(other.transform.parent))
    {
        CarControl player = other.GetComponentInParent<CarControl>();

        if (player.GetTurnLightState() != expectedTurnLight)
        {
            messages.ShowDangerMessage("turn light error", -2);
        }

        if (!keepLightsOn)
```

```

{
    player.TurnOffLights();
}

if (destroyAfterUse)
{
    Destroy(gameObject);
}
}
}

```

Excerto de Código 3: Verificação de luzes genérica.

Usando a rotunda como exemplo, foi colocado um *collider* esférico a englobar o interior da rotunda e outros com forma de caixa, um em cada saída. Eles podem ser visualizados na Figura 35.

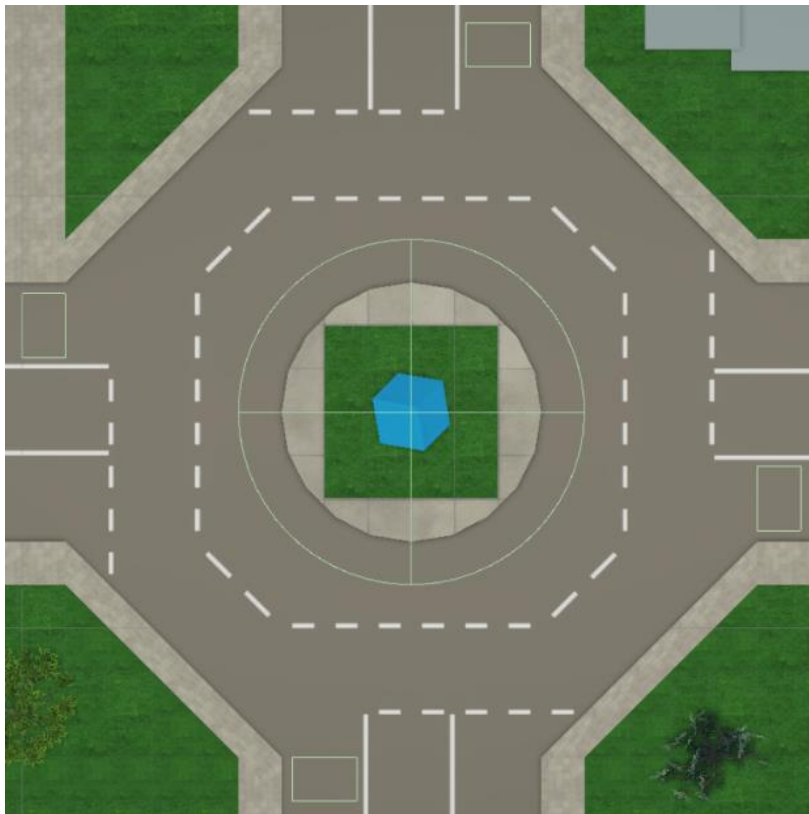


Figura 35: Verificação de luzes na rotunda.

O *collider* central testa se a luz esquerda está acesa ao entrar no interior da rotunda, mas mantém-na ligada. O *script* acima referido permite este comportamento através da configuração exibida na Figura 36.

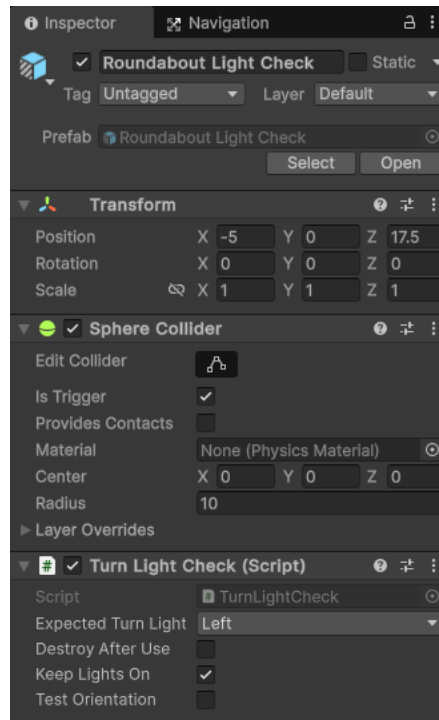


Figura 36: Teste de luz no interior da rotunda.

Nas saídas é testado se a luz direita está acesa, a qual é desligada. Adicionalmente, este teste apenas ocorre quando o jogador atravessa o *collider* no sentido apontado pelo evento, pois o caso oposto é processado por um evento separado, indicador de trânsito em contramão. A configuração para obter este comportamento está exibida na Figura 37.

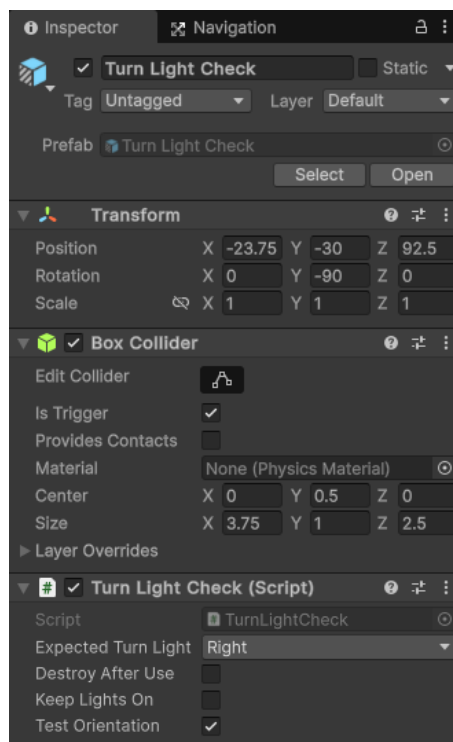


Figura 37: Teste de luz na saída da rotunda.

De modo a agilizar o desenvolvimento, a rotunda foi guardada como um *prefab* - um objeto reutilizável e pré-configurado, pronto para ser colocado em qualquer cena *Unity*.

A lista de mensagens de infrações detetadas pelo simulador pode ser consultada no Anexo B.

4.3 Elementos da Simulação

Os *NPCs* foram implementados seguindo uma estratégia de *Waypoints*. Isto é, eles seguem uma lista de pontos do seu plano de viagem colocados no mapa do jogo e, ao chegarem ao último, podem parar ou recomeçar a trajetória num ciclo interminável.

Tendo a lista de pontos a percorrer, foram exploradas diferentes alternativas de movimento. A primeira possibilidade seria controlar as coordenadas dos *NPCs* manualmente, para um funcionamento completamente personalizado. Porém, esta abordagem envolveria cálculos complexos, e não aproveitaria as funcionalidades do *Unity*. Outra possibilidade seria fazer uso do sistema de inteligência artificial do *Unity*. Para usar este sistema, define-se um alvo a atingir e as áreas que os agentes podem atravessar, e estes procurarão automaticamente o caminho mais curto que evite obstáculos. No entanto, esta opção é mais adequada para situações nas quais o alvo é móvel, e aqui pretende-se uma trajetória predefinida. A Figura 38 ilustra a experiência efetuada para esta abordagem; nela, o autocarro pode percorrer a área azul-claro (apenas a estrada).

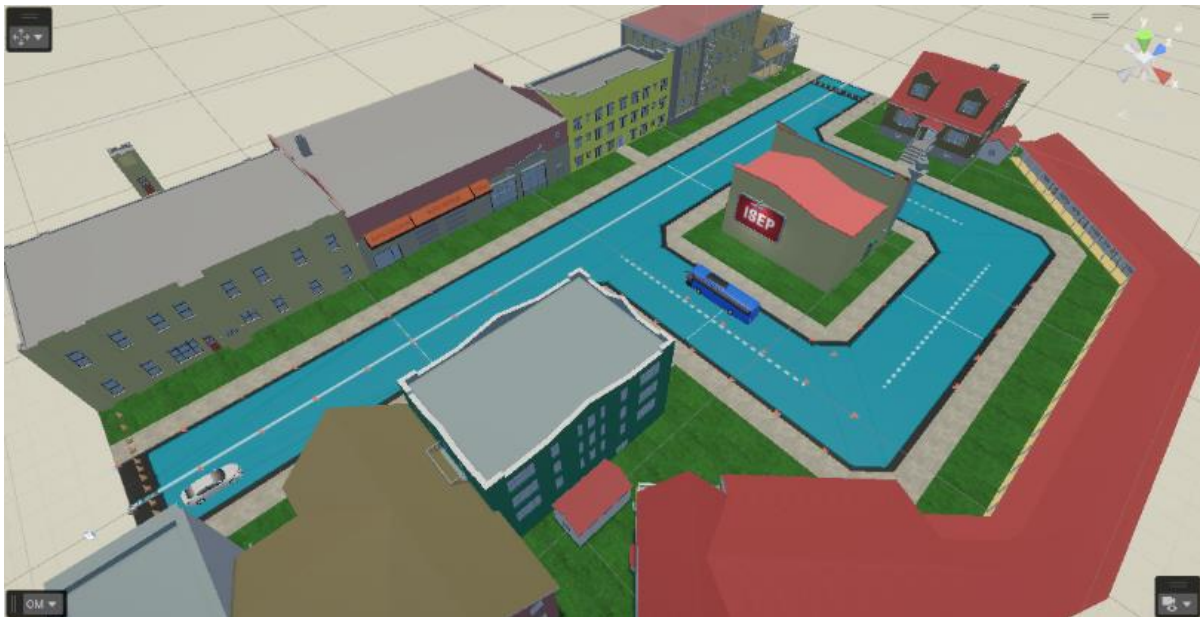


Figura 38: Área (azul-claro) que os agentes podem percorrer.

Também se explorou o *Spline Animate*, o qual permite definir uma linha para um objeto percorrer a determinada velocidade. Contudo, verificou-se que o movimento resultante desta abordagem não parecia natural e realista o suficiente para os veículos. A Figura 39 ilustra a experiência efetuada para esta abordagem; nela, o autocarro segue uma linha construída a partir dos pontos pretendidos da trajetória.

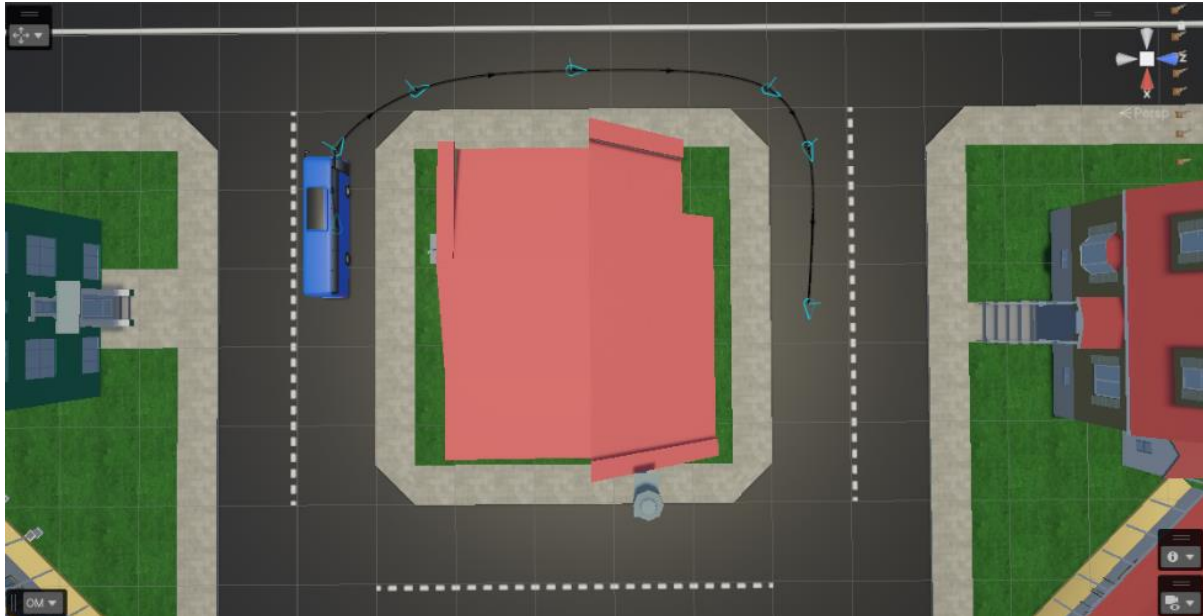


Figura 39: Trajetória definida por um *Spline*.

Por fim, optou-se por uma abordagem mais simples: em cada *frame*, os *NPCs* apontam para o próximo ponto e movem-se para a frente. É possível fazer um objeto virar-se instantaneamente para certa posição usando o método *LookAt*, o que é aceitável para os peões, mas não é realista para os veículos. Este problema pode ser corrigido incluindo uma velocidade de rotação, para além da velocidade de movimento. Em cada *frame*, usa-se o método *Slerp* para aproximar progressivamente a orientação atual do veículo à orientação desejada.

De modo a evitar colisões, os veículos param quando se deparam com qualquer obstáculo, detetado por um pequeno *collider* posicionado diretamente à sua frente. Nas situações onde existe cedência de passagem, foram colocados eventos com referência a determinada zona de perigo, para pararem veículos ou mostrarem mensagens ao jogador. No caso dos semáforos, a zona de perigo notifica os veículos à espera quando a luz fica verde. Nos casos do STOP e das rotundas, isto consegue-se guardando os objetos que entram e saem de um ou mais *colliders*. Na Figura 40, pode-se ver um *NPC* parado no STOP devido à presença do jogador na zona de perigo, que no caso do STOP é composta por três áreas.

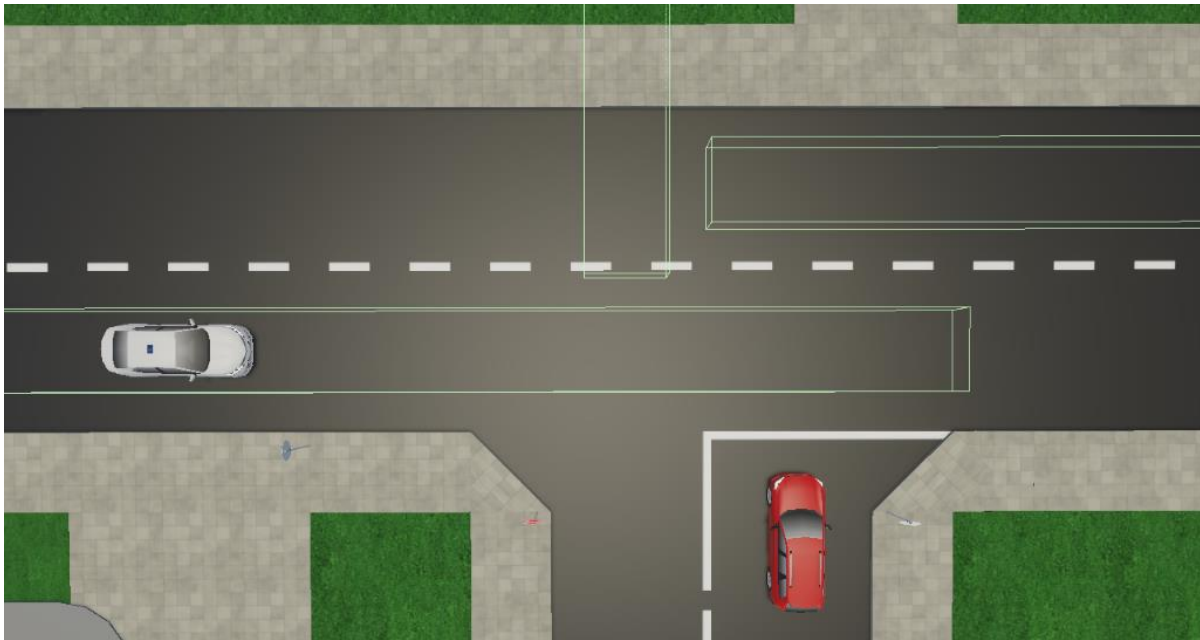


Figura 40: NPC parado no STOP.

Quando o jogador colide com um *NPC*, ele incorre numa infração muito grave, e, no caso dos peões, considerou-se adequado terminar a prova nesse momento.

Os semáforos foram feitos usando um *asset* encontrado na loja. Estes semáforos tinham diferentes luzes que podiam estar acesas, intermitentes ou apagadas. Adicionalmente, foi acrescentada uma seta para a esquerda para ser possível simular as situações em que a luz não fica verde para quem pretende virar para a esquerda - mantem-se amarela intermitente devido ao trânsito simultâneo em sentido contrário. Com isto, foram criados cruzamentos com quatro semáforos, sincronizados de forma que os pares opostos estejam no mesmo estado.

4.4 Percurso do Exame de Condução

O mapa é gerado no início de cada prova a partir de pequenos cenários com uma ou mais variantes. Estes cenários de teste foram construídos em três etapas. Primeiro, criou-se um ambiente 3D adequado ao conhecimento que se pretende testar, que foi guardado como um *prefab* no projeto. Em seguida, usou-se a opção “*create prefab variant*”, que permite criar cópias do objeto selecionado, e depois adicionar-lhe modificações. Isto tem as vantagens de permitir propagar alterações feitas no objeto original a todas as suas variantes e de reduzir o espaço ocupado no disco, pois evita-se guardar conteúdo duplicado. Por fim, acrescentaram-se quaisquer objetos desejados, como *NPCs* e eventos, que podem ter comportamento

aleatório. De modo a facilitar a validação destes cenários, foram criadas cenas *Unity* que contêm cada um isoladamente.

Os testes foram agrupados em conjuntos de acordo com as suas semelhanças, através de prefixos numéricos nos seus nomes. Estes dígitos são usados numa comparação e remoção de testes semelhantes para o resto da seleção. Dependendo do tamanho do percurso, são considerados um, dois ou três dígitos do prefixo dos ficheiros.

Os testes são seleccionados por ordem aleatória e colocados sucessivamente nas coordenadas atuais, começando na origem. Após a colocação de cada teste, estas coordenadas são atualizadas para que o teste seguinte seja posicionado no fim do atual.

A implementação deste processo pode ser analisada no Excerto de Código 4.

```
Private void GenerateMap()
{
    PlaceTest(start);

    for (int i = 0; i < numberOfTests; i++)
    {
        Test chosenTest = availableTests[Random.Range(0, availableTests.Count)];
        PlaceTest(chosenTest);
        RemoveVariants(chosenTest);
    }

    PlaceTest(end);
}

private void PlaceTest(Test test)
{
    var newTest = Instantiate(test, new Vector3(currentX, 0, currentZ),
                               Quaternion.identity);
    newTest.transform.SetParent(this.transform);
    newTest.AssignPathIndex(path.Count);
    path.Add(newTest.gameObject);
    currentZ += test.deltaZ * tileSize;
    currentX += test.deltaX * tileSize;
}

private void RemoveVariants(Test test)
{
    string prefix = test.Prefix(uniqueDigits);

    for (int i = availableTests.Count - 1; i >= 0; i--)
    {
        if (availableTests[i].Prefix(uniqueDigits) == prefix)
        {
            availableTests.RemoveAt(i);
        }
    }
}
```

Excerto de Código 4: Geração do percurso de exame.

O funcionamento do gerador de mapas requer uma lista de referências aos cenários de teste existentes. Como os testes foram organizados em pastas, popular a lista manualmente seria demorado. Para acelerar o processo, foi adicionado um botão no editor do script que pesquisa automaticamente as pastas e coloca os testes encontrados na lista, excluindo os cenários base. Para isto, aplicou-se a capacidade do *Unity* de correr código dentro do editor. A Figura 41 ilustra o uso deste botão. Note-se que a lista foi reduzida para fins demonstrativos, o número total de testes criados foi 29.

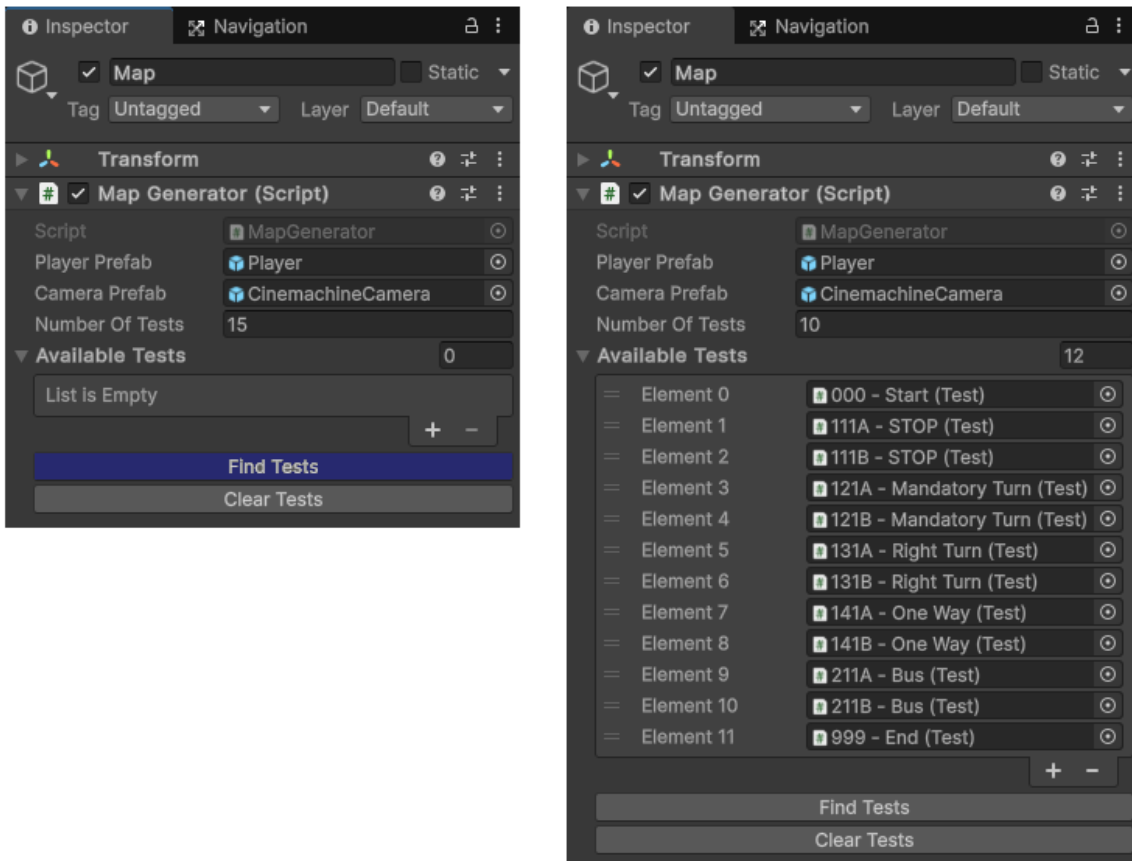


Figura 41: Pesquisa automática de testes.

De modo a melhorar o desempenho, o mapa não está completamente visível de uma só vez. Os testes são todos inicializados no início, mas apenas estarão ativos os testes mais próximos à posição atual do utilizador. À medida que o utilizador percorre o mapa, os testes anteriores são desativados, e os seguintes são ativados. Para além do teste atual, a visibilidade normal mostra os quatro anteriores e os quatro seguintes, mas pode ainda ser reduzida nas opções para mostrar somente até os dois anteriores e os dois seguintes.

4.5 Jogabilidade

O controlo do automóvel do utilizador foi implementado com o *wheel collider*, que foi colocado em cada roda. O que difere este componente de outros *colliders* disponíveis é que, para além de impedir o objeto associado de passar por dentro de outros objetos (como a estrada), também permite aplicar forças rotacionais sobre as rodas. Mais concretamente, é possível simular a aceleração, a travagem e a fricção, bem como mostrar a rotação e orientação das rodas em tempo real.

O suporte para diferentes dispositivos foi implementado com o novo sistema de *input*. Para colocar em prática este sistema, começa-se por definir as ações que o jogador poderá efetuar num ficheiro dedicado designado *InputActions*. Para cada ação, indicam-se as teclas que as invocam, as quais podem originar-se de diferentes dispositivos. Tendo isto configurado, os scripts podem subscrever métodos para serem chamados sempre que uma ação é efetuada e/ou deixa de ser efetuada, ou podem aceder diretamente aos valores atuais de *input*, como de aceleração, por exemplo. A Figura 42 mostra a janela de configuração das ações.

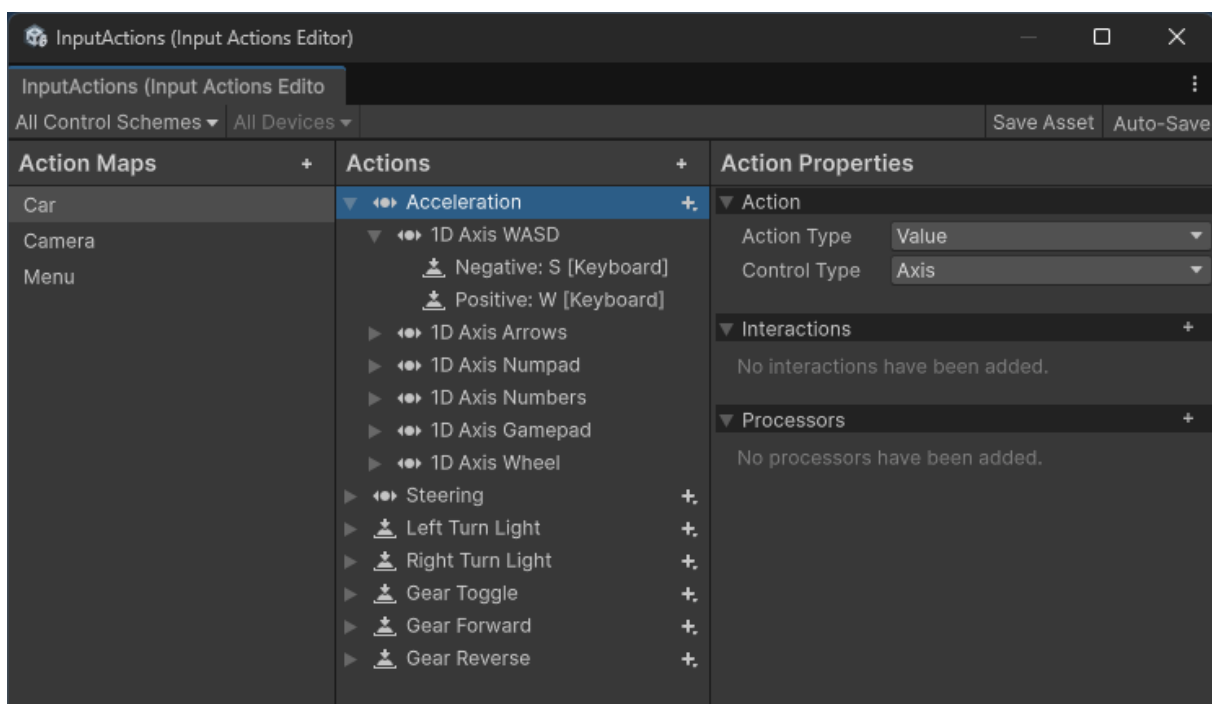


Figura 42: Configuração do *input*.

A visualização em terceira pessoa foi concretizada com o componente *Cinemachine Camera*, que disponibiliza formas de controlar a posição e a rotação de câmaras em tempo real. Neste projeto, foi escolhida a opção *Third Person Follow*, com o alvo definido como um objeto vazio em cima do automóvel do utilizador. O utilizador pode controlar a câmara através de um script, para olhar para a esquerda, para a direita ou para trás (usando ambas as teclas). Este controlo

é conseguido alterando a rotação do alvo da câmara. A Figura 43 mostra a configuração da câmara.

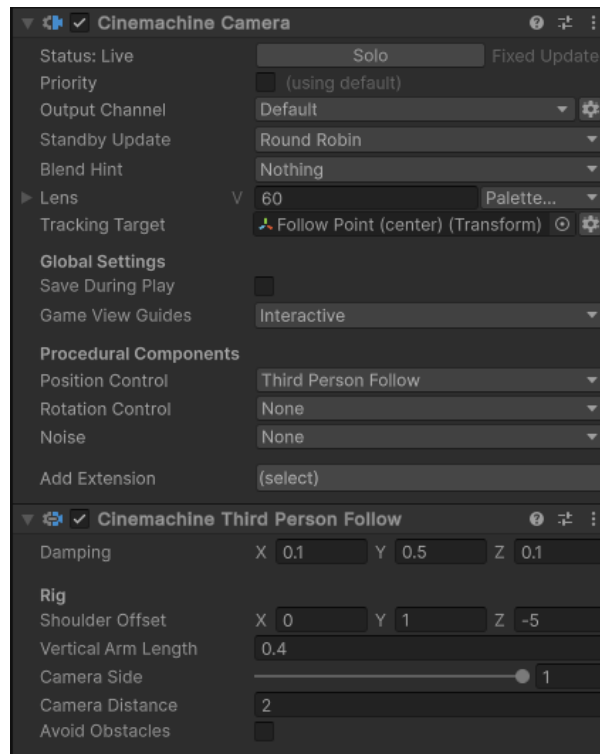


Figura 43: Configuração da câmara.

5 Avaliação da Solução

Este capítulo detalha a avaliação do simulador por indivíduos representantes do público-alvo. Começa pela descrição do método usado, seguido pela apresentação e discussão dos resultados, em seguida enumera as sugestões dos participantes e termina com algumas considerações finais.

5.1 Método

Procurou-se a participação de pessoas em diferentes estados do percurso de obtenção da carta: não ter iniciado as aulas, frequentar aulas teóricas, frequentar aulas práticas e já ter carta. Foi pedido aos participantes que fizessem a simulação duas vezes, com mapa de tamanho médio, e que posteriormente respondessem a um inquérito no *Google Forms* (ver o Anexo C). Tanto as simulações como as respostas aos inquéritos foram realizadas presencialmente. Relativamente aos grupos em aulas, solicitou-se a colaboração de diferentes escolas de condução da área. Uma das escolas contactadas concedeu permissão para comparecer numa aula teórica e convidar alunos interessados, um a um, para experimentarem o simulador. Em total, obteve-se a participação de 28 pessoas, tendo havido alguns constrangimentos devido à época de férias, especialmente quanto aos alunos em aulas práticas.

5.2 Resultados

Esta secção apresenta os resultados do inquérito, por meio de gráficos circulares gerados no *Microsoft Excel*.

Na Figura 44, pode-se ver a distribuição dos participantes por género. A maior parte dos inquiridos foi do género masculino.

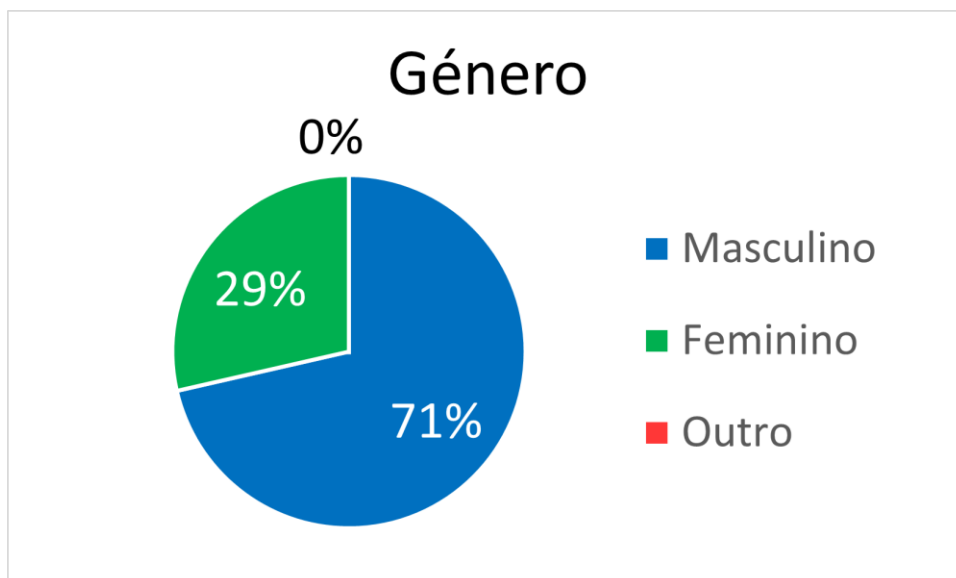


Figura 44: Distribuição dos participantes por género.

Na Figura 45, pode-se ver a distribuição dos participantes por faixas etárias. A faixa etária com maior representação na amostra está entre os 18 e os 25 anos.

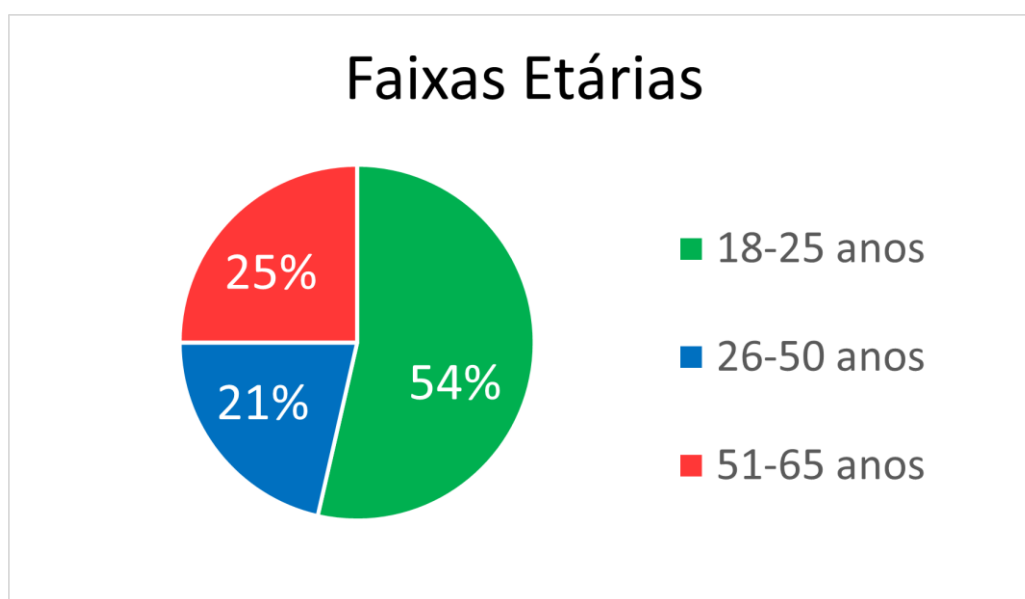


Figura 45: Distribuição dos participantes por faixas etárias.

Na Figura 46, pode-se ver a distribuição dos participantes por estado de obtenção da carta de condução. O grupo com menor representação na amostra foram os alunos em aulas práticas de condução.

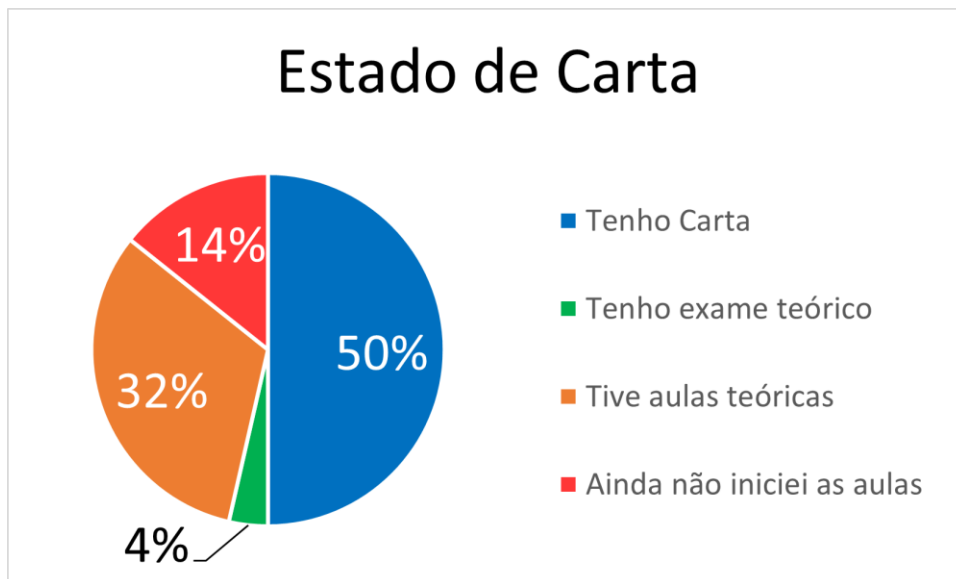


Figura 46: Distribuição dos participantes por estado de obtenção da carta de condução.

Na Figura 47 pode-se ver, dos participantes que já tinham carta, há quantos anos são portadores dela. O conjunto maior corresponde ao intervalo dos 16 aos 30 anos.

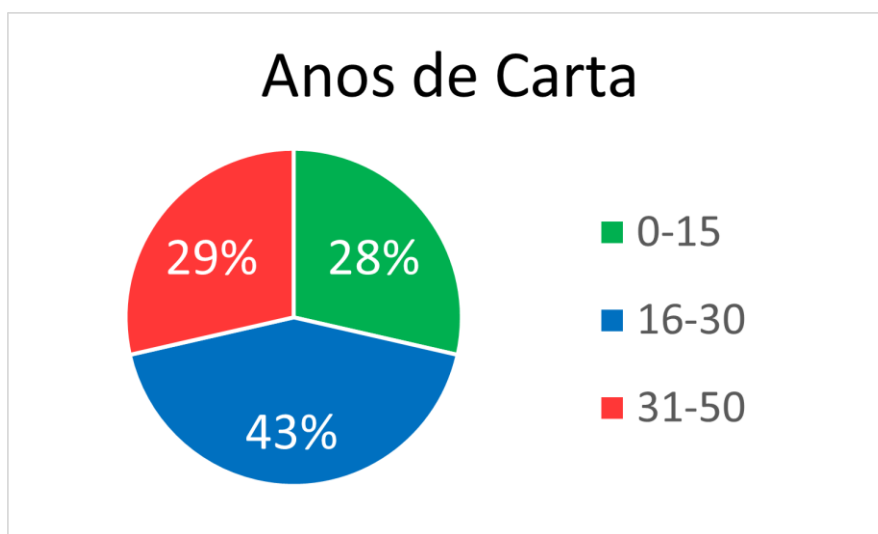


Figura 47: Distribuição dos participantes com carta, por número de anos com carta.

Na Figura 48, pode-se ver a distribuição dos participantes por experiência em videojogos ou simuladores. Verifica-se que grande parte dos participantes tinha uma experiência reduzida em videojogos ou simuladores.

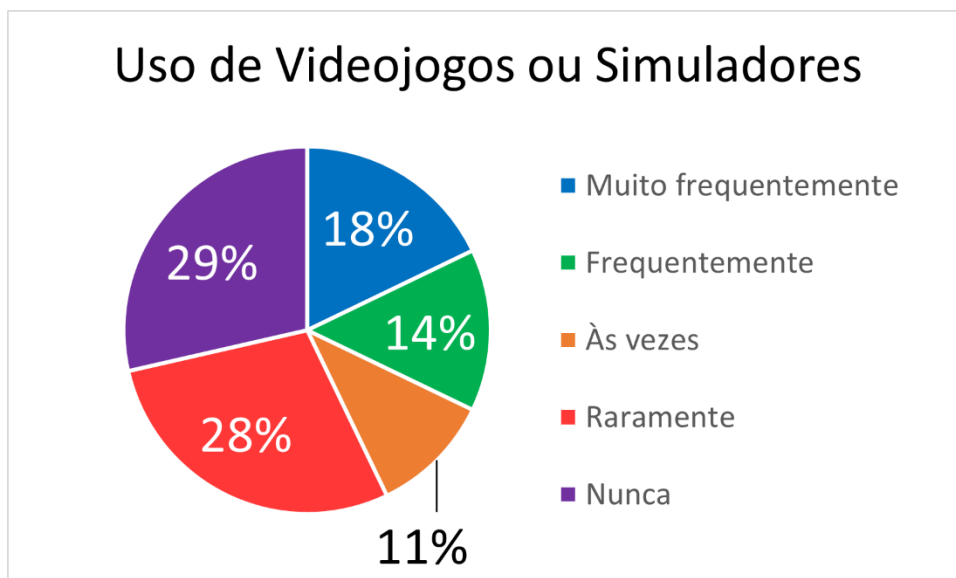


Figura 48: Distribuição dos participantes por experiência em videojogos ou simuladores.

Na Figura 49, apresenta-se uma visão geral das pontuações obtidas na primeira simulação de cada participante. No primeiro contacto com o simulador, verifica-se uma predominância de pontuações negativas.

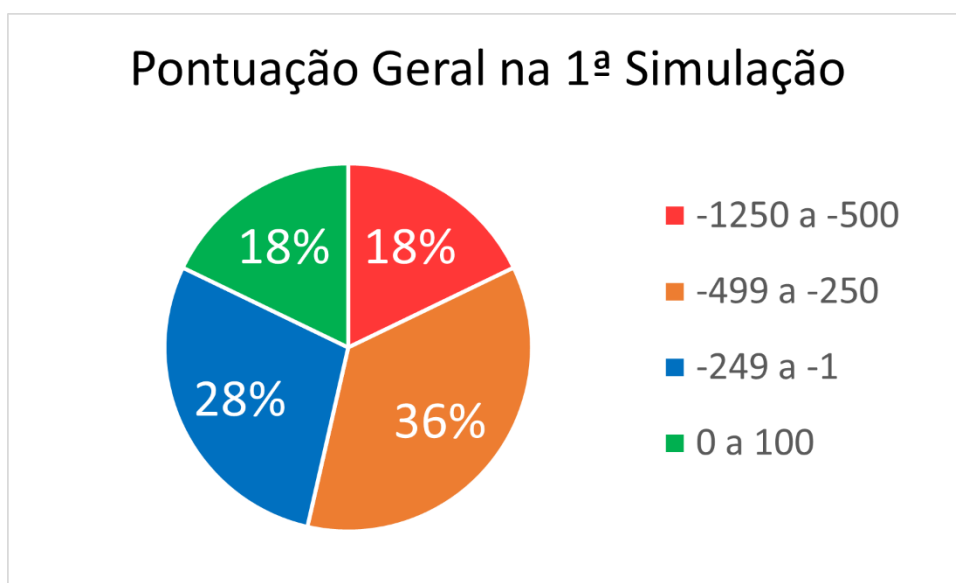


Figura 49: Visão geral das pontuações obtidas na primeira simulação.

Na Figura 50, pode-se ver o mesmo tópico do gráfico anterior, mas filtrado para incluir apenas os participantes com carta. Nota-se uma redução no número de pontuações abaixo dos 500 pontos negativos.

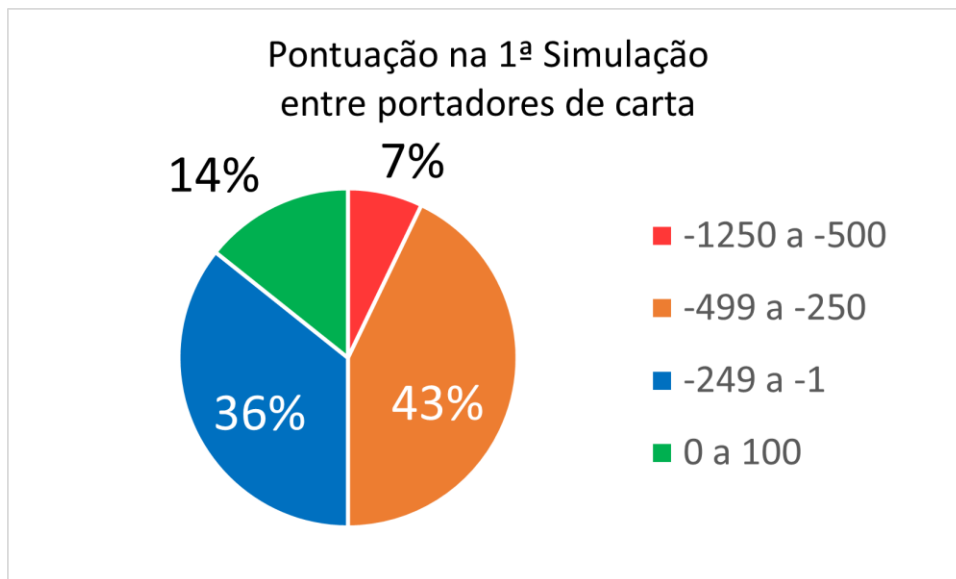


Figura 50: Pontuações obtidas na primeira simulação pelos portadores de carta.

A Figura 51 mostra um gráfico similar aos dois anteriores, mas desta vez filtrado para incluir apenas os participantes que responderam “Frequentemente” ou “Muito frequentemente” na pergunta relativa ao uso de videojogos/simuladores. É aparente um aumento no número de pontuações positivas.

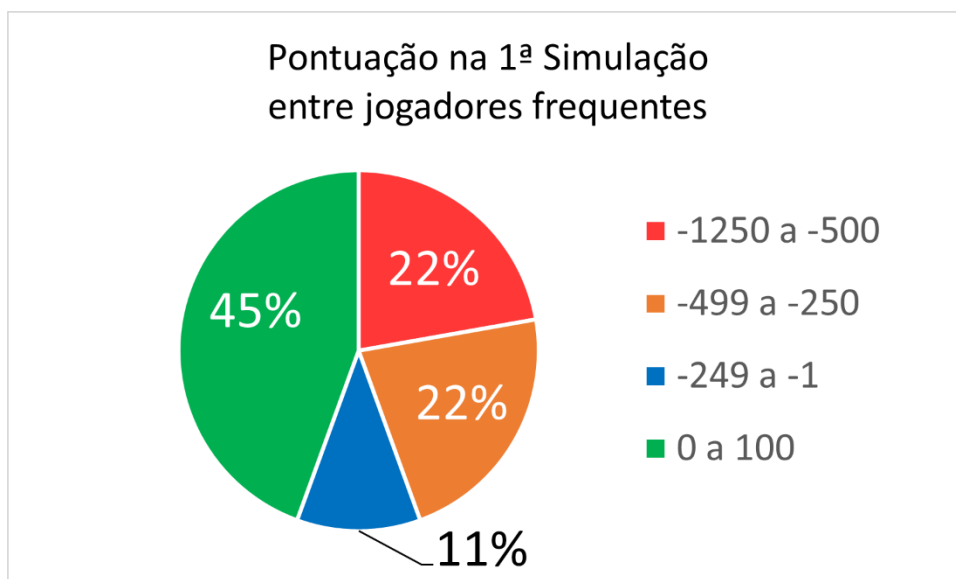


Figura 51: Pontuações obtidas na primeira simulação por jogadores frequentes.

Na Figura 52, apresenta-se uma visão geral das pontuações obtidas na segunda simulação de cada participante. Os participantes apresentaram melhorias significativas em relação à primeira tentativa.

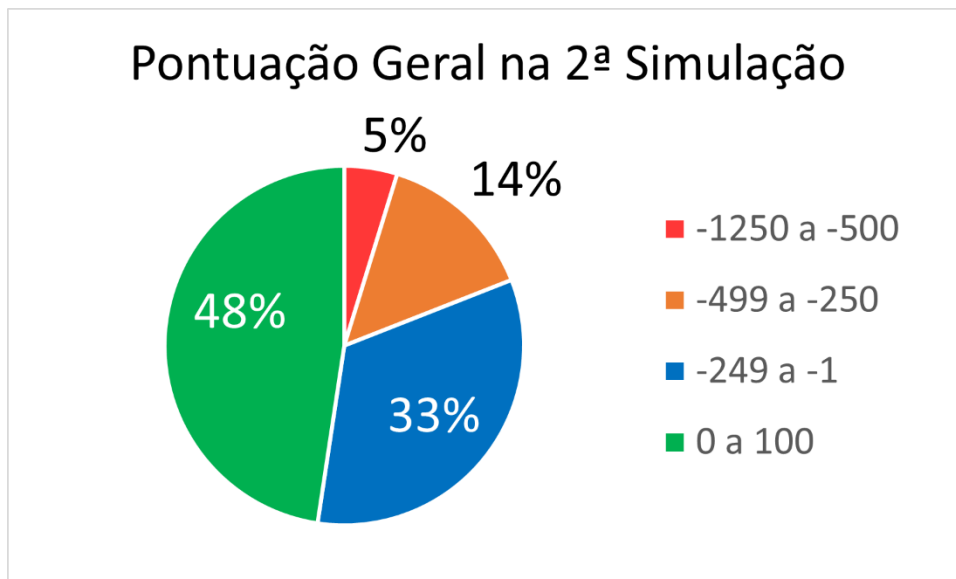


Figura 52: Visão geral das pontuações obtidas na segunda simulação.

Na Figura 53, pode-se ver o mesmo tópico do gráfico anterior, mas filtrado para incluir apenas os participantes com carta. Realça-se a ausência de entradas no intervalo das pontuações mais negativas.

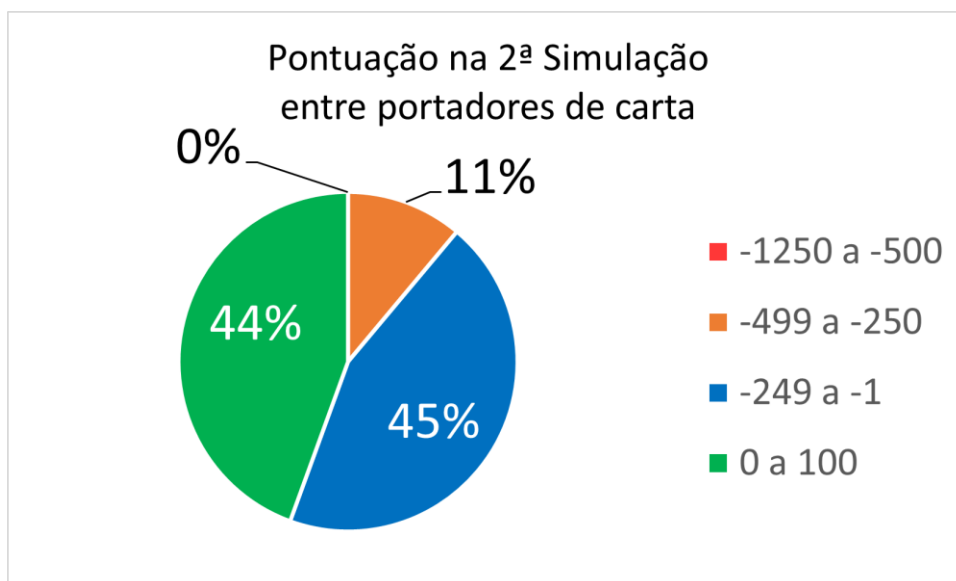


Figura 53: Pontuações obtidas na segunda simulação pelos portadores de carta.

A Figura 54 mostra um gráfico similar aos dois anteriores, mas desta vez filtrado para incluir apenas os participantes que responderam “Frequentemente” ou “Muito frequentemente” na pergunta relativa ao uso de videogogos/simuladores. Este conjunto de dados, em particular, revela a maior percentagem de pontuações positivas.

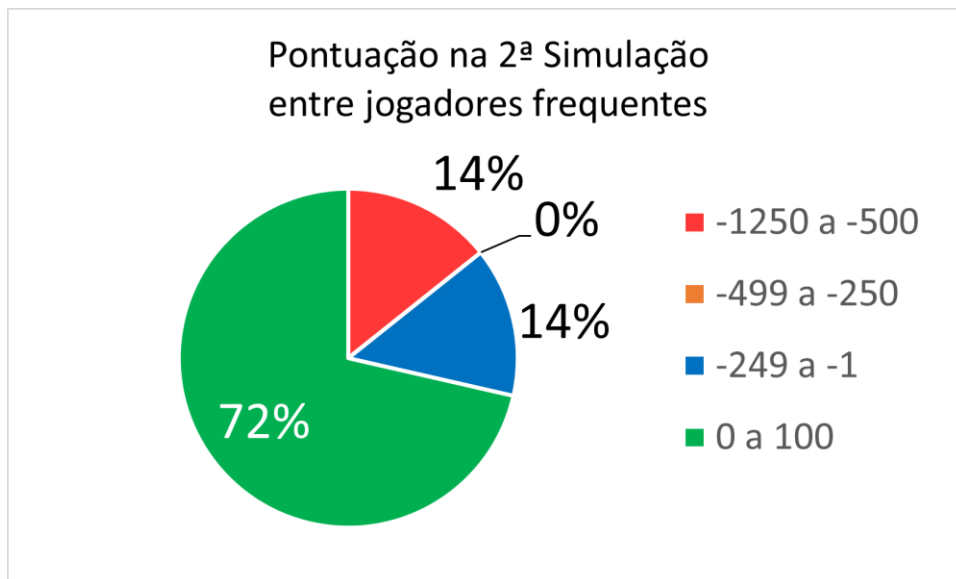


Figura 54: Pontuações obtidas na segunda simulação por jogadores frequentes.

Na Figura 55, pode-se ver o resumo de respostas referentes à utilidade do simulador. A maior parte dos participantes expressou opiniões positivas sobre o projeto, mas alguns consideraram-no menos eficaz.

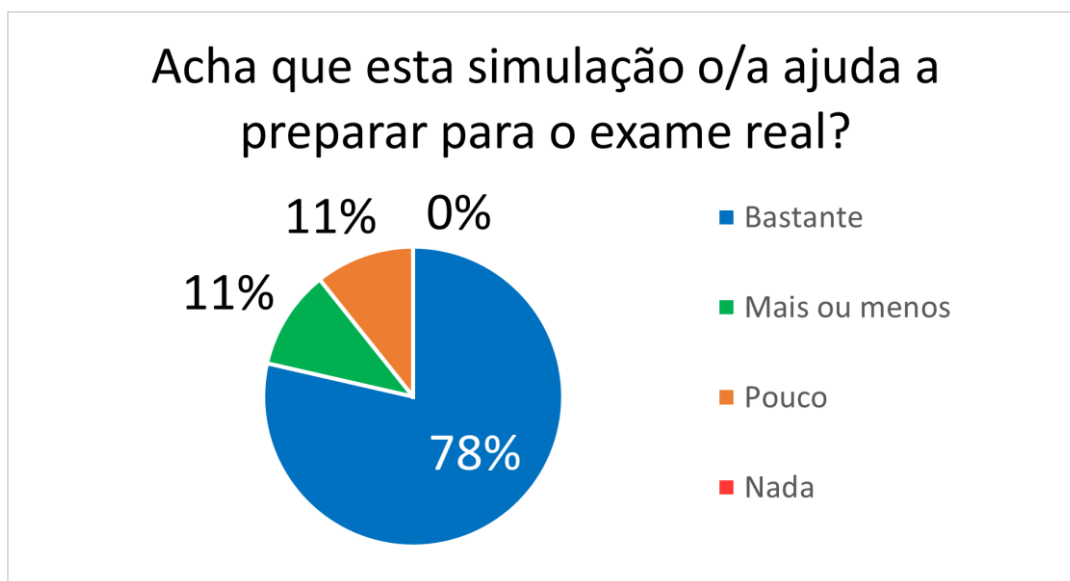


Figura 55: Respostas referentes à utilidade do simulador.

Na Figura 56, pode-se ver o resumo de respostas referentes ao realismo do simulador. As opiniões foram maioritariamente positivas, porém alguns participantes desejavam maior realismo.

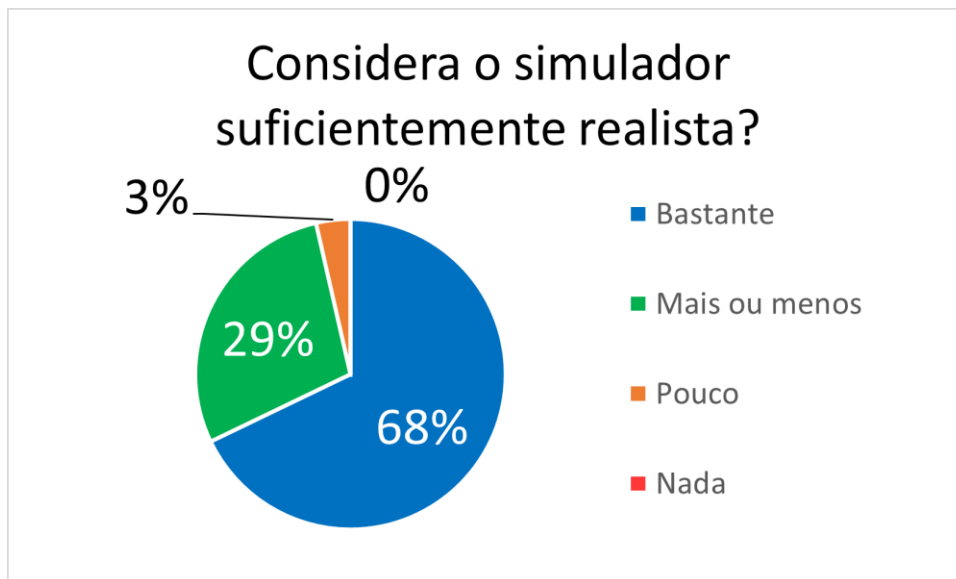


Figura 56: Respostas referentes ao realismo do simulador.

Na Figura 57, pode-se ver o resumo de respostas referentes à facilidade de compreensão das mensagens de infrações. As opiniões foram quase todas positivas, havendo apenas uma percentagem reduzida que não estava satisfeita.

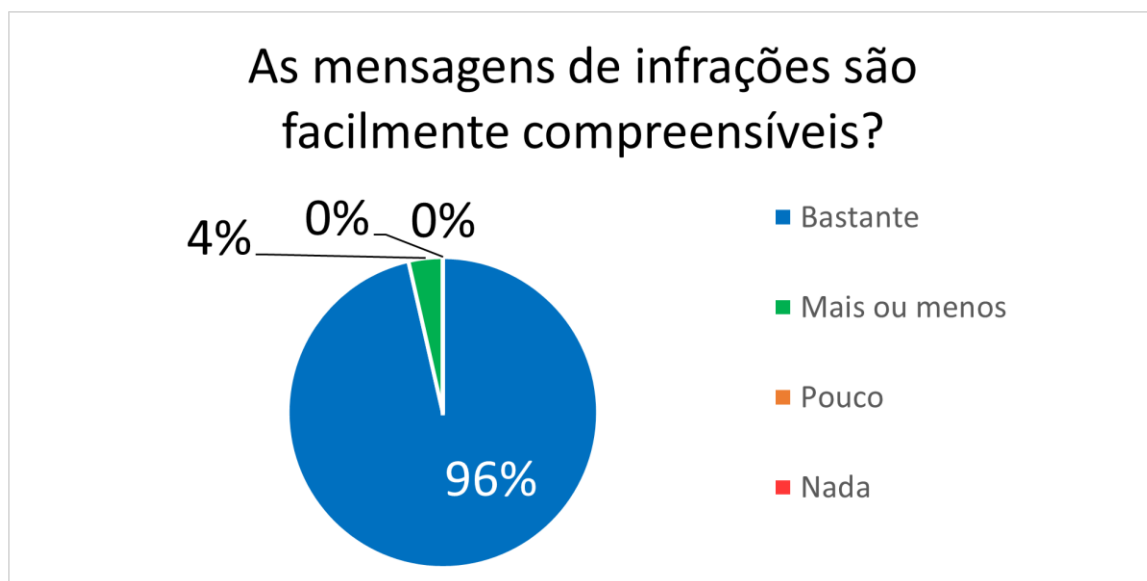


Figura 57: Respostas referentes à facilidade de compreensão das mensagens de infrações.

Relativamente à usabilidade, foi aplicado o questionário SUS (*System Usability Scale*), com ligeiras adaptações para o contexto. Ele consiste em 10 perguntas na escala de *Likert* (1 a 5), tendo perguntas positivas intercaladas com perguntas negativas. Tendo as respostas, aplica-se uma fórmula predefinida para obter a pontuação de cada inquirido (1 a 100). Por fim pode-se calcular a média das pontuações individuais. Neste caso, obteve-se uma média de 84.3, que

é um resultado favorável. A Tabela 6 resume os resultados obtidos para cada questão e para a fórmula final, apresentado as médias de cada um.

Tabela 6: Resumo de resultados do questionário SUS.

Questão SUS	Média
01 - Para tirar a carta, usaria este simulador frequentemente.	4.4
02 - Achei o simulador desnecessariamente complexo.	1.4
03 - Achei o simulador fácil de usar.	4.6
04 - Penso que precisaria de ajuda técnica para conseguir usar este simulador.	2.1
05 - Achei que as várias funcionalidades do simulador estavam bem integradas.	4.6
06 - Achei que havia demasiada inconsistência no simulador.	1.4
07 - Imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este simulador rapidamente.	4.5
08 - Achei o simulador pouco prático de usar.	1.4
09 - Senti-me confiante ao usar o simulador.	4.0
10 - Precisei de aprender muitas coisas antes de conseguir usar o simulador.	2.0
Resultados da Fórmula	84.3

5.3 Sugestões dos Participantes

Os participantes do inquérito forneceram algumas sugestões importantes, algumas das quais foram implementadas.

As sugestões que foram implementadas são as seguintes:

- A utilização dos indicadores de mudança de direção;
- Colocar o simulador a funcionar com volante e pedais;
- A presença de mais peões;
- Marca de linha contínua nas estradas com Stop;
- Corrigir a passadeira desenhada na via de sentido único.

Outras sugestões obtidas, mas não implementadas incluem as seguintes:

- A presença de veículos de duas rodas;
- Maior concentração de trânsito.

5.4 Discussão dos Resultados

A aferição do projeto pelo inquérito revelou resultados positivos. Uma percentagem elevada dos participantes (78%) considerou o simulador uma ajuda significativa de preparação para o

exame real. É um resultado semelhante em comparação com os trabalhos relacionados pesquisados. Notou-se que os utilizadores conseguem ambientar-se rapidamente ao simulador, mostrando melhor taxa de aprovação na segunda tentativa (48%) em relação à primeira (18%). Verificou-se que a experiência prévia em videojogos/simuladores permitiu aos participantes atingir melhores resultados, tendo este grupo atingido a maior taxa de aprovação (72%).

6 Conclusões

Neste último capítulo, faz-se uma reflexão sobre os objetivos atingidos e apresentam-se as observações e conclusões finais.

6.1 Objetivos Atingidos

Esta secção transmite uma resposta final às questões de investigação e especifica os objetivos que foram concretizados em relação aos essenciais previstos no início do projeto.

6.1.1 Balanço das regras e sinais de trânsito implementadas

Foram implementadas as regras e sinais planeados, com a exceção dos dois seguintes: velocidade máxima permitida e perigo de passagem de peões. O primeiro foi considerado desnecessário porque o simulador não permite grandes excessos de velocidade. O segundo foi considerado redundante porque já era usado o sinal informativo de passagem de peões. Também foram implementadas 11 regras e sinais identificados como não prioritários. A razão de terem sido implementados deve-se às sugestões dos utilizadores.

6.1.2 Resposta Final às Questões de Investigação

Neste trabalho, destacou-se a potencialidade dos jogos e simuladores de fornecer uma experiência próxima da realidade para colocar em prática conceitos adquiridos na teoria. Isto é particularmente relevante para os alunos em aulas teóricas, cujo contacto com a condução ainda está limitado a exercícios de perguntas e respostas. É um método de aprendizagem relativamente eficaz, visto que 78% dos inquiridos consideraram o simulador uma ferramenta útil de preparação para a condução. Para além disso, revelaram uma melhoria de 30% na taxa de aprovação no simulador da primeira para a segunda tentativa, mesmo com a variabilidade dos percursos de exame apresentados. As características do simulador que contribuíram para esta eficácia foram o interesse resultante dos desafios variados, o *feedback* imediato proveniente das mensagens em tempo real e a motivação para obter uma pontuação positiva.

6.2 Considerações Finais

Com este projeto pretendia-se a elaboração de uma ferramenta de aprendizagem que consiste num simulador de condução focado nas regras e sinais constituintes do código da estrada. Desejava-se também que o simulador fosse acessível, no sentido de poder ser usado em casa sem necessitar de equipamento específico.

A pesquisa referente aos trabalhos relacionados permitiu construir a partir de ideias existentes (como mensagens de infrações e diferentes dispositivos de *input*) e acrescentar novas (como a geração de percursos).

Os objetivos do trabalho foram atingidos, pois foi implementada a maioria das regras e sinais planeados. Para além destes, ainda foram implementados mais alguns que tinham sido considerados menos prioritários.

A principal característica diferenciadora deste simulador em relação aos existentes é a variação de mapas por meio de geração automática. Isto foi realizado através da seleção aleatória e colocação sucessiva de blocos de construção que correspondem a situações de trânsito. A conjugação da geração automática com a elaboração manual das situações de trânsito assegurou a validade e interesse dos cenários de teste, que é um dos desafios da geração automática.

Em geral, os participantes tiveram uma opinião positiva do simulador. Relativamente à apreciação dos especialistas na área do ensino de condução inquiridos, foram recebidas perspectivas divergentes. O projeto foi apoiado por alguns, especialmente nas escolas que já disponibilizavam simuladores para os alunos, realçando a utilidade de um simulador que permitisse aos alunos praticar em casa. Outros consideraram que os simuladores não são úteis para a aprendizagem da condução de veículos automóveis.

Caso se desejasse desenvolver mais este simulador, muito mais poderia ser feito. Nomeadamente, acrescentar mais regras, sinais e situações de trânsito e melhorar o aspeto gráfico.

Referências

- (Abdullah et al. 2022) Abdullah, N.M.A.F.N. *et al.*, 2022, 'The Development of Driving Simulator Game-Based Learning in Virtual Reality,' in *2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing and Applications, CSPA 2022 - Proceeding*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 325–328, viewed December 5, <https://doi.org/10.1109/CSPA55076.2022.9781976>
- (Ali & Usman 2016) Ali, Z. and Usman, M., 2016, 'A framework for game engine selection for gamification and serious games', in *2016 Future Technologies Conference (FTC)*. IEEE, pp. 1199–1207, viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821753>
- (Andrade 2015) Andrade, A. ,2015, 'Game engines: a survey', *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 2(6), p. 150615, viewed 4 December 2024 <https://doi.org/10.4108/eai.5-11-2015.150615>
- (Association for Computing Machinery 1999) Association for Computing Machinery, 1999, *Software Engineering Code - ACM Ethics*, viewed 1 January 2025, <https://ethics.acm.org/code-of-ethics/software-engineering-code/>
- (Association for Computing Machinery 2018) Association for Computing Machinery, 2018, *Code of Ethics*, viewed 1 January 2025, <https://www.acm.org/code-of-ethics>
- (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2023) Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, 2023, *RELATÓRIO ANUAL 2023 SINISTRALIDADE 24HORAS FISCALIZAÇÃO E CONTRAORDENAÇÕES*, viewed 4 January 2025, <http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Documents/2023/Relat%C3%B3rio%20Anual%20de%20Sinistralidade%20a%2024h,%20fiscaliza%C3%A7%C3%A3o%20e%20contraordena%C3%A7%C3%B5es%20rodovi%C3%A1rias%202023.pdf>
- (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2025) Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, 2025, *Sinistralidade - Relatório Anual 2023*, viewed 21 September 2025, <http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Documents/2023/Relat%C3%B3rio%20Anual%20de%20Sinistralidade%20a%2030%20dias,%20fiscaliza%C3%A7%C3%A3o%20e%20c%20ntra%20ordena%C3%A7%C3%B5es%20rodovi%C3%A1rias%202023.pdf>
- (Brainwork Soluções Multimédia n.d.) Brainwork Soluções Multimédia, no date, *Simuladores SimDriver acreditados IMT*, viewed 7 September 2025, <https://www.simdriver.pt>
- (Coptersafet y 2023) Coptersafety, 2023, *5 Benefits of Full-Flight Simulators | LinkedIn*, Viewed 3 January 2025, <https://www.linkedin.com/pulse/5-benefits-full-flight-simulators-coptersafety/>
- (Cowan & Kapralos 2014) Cowan, B. and Kapralos, B., 2014, 'A Survey of Frameworks and Game Engines for Serious Game Development', in *2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE, pp. 662–664., viewed 5 December 2024, <https://doi.org/10.1109/ICALT.2014.194>
- (Department of Safety t of Safety) Department of Safety and Security, United Nations, no date, *Road Safety*, viewed 21 September 2025, <https://www.un.org/safety-and-security/en/expertise/road-safety>

and Security
n.d.)

- (Diário da República 2015) Diário da República, 2015, *Portaria n.º 185/2015*, viewed 7 September 2025, <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/portaria/1900-133911099>
- (Escola de Condução Invicta n.d.) Escola de Condução Invicta, no date, *Sinalização Rodoviária*, viewed 9 October 2024, <https://www.invicta.pt/codigo/sinalizacao.asp>
- (European Commission 2025) European Commission, 2025, *Annual statistical report on road safety in the EU 2025, European Road Safety Observatory*, Brussels, European Commission, Directorate General for Transport, viewed 21 September 2025, https://road-safety.transport.ec.europa.eu/document/download/17d70e9c-d9c4-4273-b497-41b61194e808_en?filename=ERSOnext_AnnualReport_20250227.pdf
- (Fung et al. 2023) Fung, Y.C. *et al.*, 2023, 'A Mobile Driving Simulator to Improve Driving Experience for Novice and Learner Drivers', in *Proceedings - 2023 International Symposium on Educational Technology, ISET 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 142–147, viewed 5 December 2024, <https://doi.org/10.1109/ISET58841.2023.00036>
- (IMT 2016) Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2016, *Características dos simuladores de condução*, viewed 7 September 2025, https://www.imt-ip.pt/wp-content/uploads/Documents/2016/Caracteristicas_simuladores_condu%C3%A7%C3%A3o.pdf
- (IMT 2021) Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2021, *Taxa de Aprovação por Categoria*, viewed 2 January 2025, https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/EnsinoConducao/taxasdeaprovacao/Documents/ANO_2021/Categorias-2021.pdf
- (IMTT 2010a) Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, *Manual da Qualidade de Serviços*, IMTT, viewed 29 November 2024
- (IMTT 2010b) Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, *Manual do Ensino da Condução*, IMTT, viewed 29 November 2024
- (Instituto Politécnico do Porto 2020) Instituto Politécnico do Porto, 2020 *Regulamento do Código de Boas Práticas e de Conduta do Instituto Politécnico do Porto*, viewed, November 8 2024 <https://www.iscap.ipp.pt/regulamentos/CodigoboaspraticasedecondutaIPP.pdf>
- (Jaunoo & Nagowah 2022) Jaunoo, W.M. and Nagowah, L., 2022, 'Trafik Moris: A Serious Game for Learning Traffic Behavior and Safety', in *Proceedings - 3rd International Conference on Next Generation Computing Applications, NextComp 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, viewed December 5, <https://doi.org/10.1109/NextComp55567.2022.9932236>
- (Johnson et al. 2022) Johnson, J.M. *et al.*, 2022, 'Virtual 3D Game-on simulation: An immersive learning framework for assisted driving', in *2022 International Conference for Advancement in Technology, ICONAT 2022*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, viewed 5 December 2024, <https://doi.org/10.1109/ICONAT53423.2022.9726027>
- (Kandhai et al. 2011) Kandhai, K., Smith, M. and Kanneh, A. (2011) 'Immersive Driving Simulator for Driver Education and Analysis', in *2011 16th International Conference on Computer Games*. IEEE, viewed December 5, <https://doi.org/10.1109/CGAMES.2011.6000355>

- (Kopciak et al. 2016) Kopciak, P.A. *et al.*, 2016, 'Virtual Reality Driving Simulator Prototype for Teaching Situational Awareness in Traffic', in *103-Recent Advances in Multimedia Processing, Organization and Visualization beyond Domains and Disciplines*, viewed 5 December 2024
- (Nogueira 2014) Nogueira, 2014, 'SIMULADOR PARA APOIO AO ENSINO DO CÓDIGO DA ESTRADA', master's Thesis, ISEP, viewed 29 November 2024
- (Page, McKenzie, et al. 2021) Page, M.J. *et al.*, 2021, 'The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews', *The BMJ*. BMJ Publishing Group. viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- (Page, Moher, et al. 2021) Page, M.J. *et al.*, 2021, 'PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews', *The BMJ*, 372, viewed 23 November 2024, <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- (Parlamento Europeu 2019) Parlamento Europeu, 2019, *Estatísticas sobre sinistralidade rodoviária na UE (infografia)*, viewed 17 August 2025, <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20190410STO36615/estatisticas-sobre-sinistralidade-rodoviaria-na-ue-infografia>
- (Program-Ace 2024) Program-Ace, 2024, *All the Types of Simulation Training to Use in Practice*, viewed 3 January 2025, <https://program-ace.com/blog/types-of-simulation-training/>
- (Rodrigues et al. 2015) Rodrigues, M.A.F. *et al.*, 2015, 'Beyond fun: An interactive and educational 3D traffic rules game controlled by non-traditional devices', in *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*. Association for Computing Machinery, pp. 239–246, viewed 9 October 2024, <https://doi.org/10.1145/2695664.2695915>
- (Salmela 2022) Salmela, T., 2022, 'Game Development Using the Open-Source Godot Game Engine', Bachelor's Thesis, Tampere University of Applied Sciences, viewed 4 December 2024
- (Sharif & Yousif Ameen 2021) Sharif, K.H. and Yousif Ameen, S., 2021, 'Game Engines Evaluation for Serious Game Development in Education', in *2021 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. IEEE, pp. 1–6, viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.23919/SoftCOM52868.2021.9559053>
- (Singh & Kaur 2022) Singh, S. and Kaur, A., 2022, 'Game Development using Unity Game Engine', in *ICAN 2022 - 3rd International Conference on Computing, Analytics and Networks - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.1109/ICAN56228.2022.10007155>
- (Šmíd 2017) Šmíd, A., 2017, 'Comparison of Unity and Unreal Engine', bachelor's Thesis, Czech Technical University, viewed 4 December 2024
- (Soni & Kaur 2024) Soni, L. and Kaur, A., 2024, 'Merits and Demerits of Unreal and Unity: A Comprehensive Comparison', in *2024 International Conference on Computational Intelligence for Green and Sustainable Technologies, ICCIGST 2024 - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.1109/ICCIGST60741.2024.10717602>
- (Topol & Malý 2023) Topol, L. and Malý, M., 2023, 'DEVELOPMENT OF ADVANCED DRIVING SIMULATOR FOR DRIVING SCHOOLS', in *Acta Polytechnica CTU Proceedings*. Czech Technical University in Prague, pp. 79–82, viewed December 5, <https://doi.org/10.14311/APP.2023.41.0079>
- (Vasudevamurt & Uskov 2015) Vasudevamurt, V.B. and Uskov, A, 2015 'Serious game engines: Analysis and applications', in *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*. IEEE, pp. 440–445, viewed 4 December 2024, <https://doi.org/10.1109/EIT.2015.7293381>

- (Vohera et al. 2021) Vohera, C. *et al.*, 2021, 'Game Engine Architecture and Comparative Study of Different Game Engines', in *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE, pp. 1–6, viewed 9 October 2024, <https://doi.org/10.1109/ICCCNT51525.2021.9579618>
- (Wassink et al. 2006) Wassink, I. *et al.*, 2006, 'In The Truman Show: Generating Dynamic Scenarios in a Driving Simulator', *IEEE INTELLIGENT SYSTEMS*, 21(5), pp. 28–32, viewed 5 December 5, <https://doi.org/10.1109/MIS.2006.97>
- (We live vision zero n.d.) We live vision zero, no date, *We live vision zero*, viewed 21 September 2025, <https://www.welivevisionzero.com>
- (World Health Organization 2023) World Health Organization, 2023, *Global status report on road safety 2023*, Geneva, viewed 21 September 2025, <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf>

Anexo A – Risk Register

ID	Descrição	Causa	Efeito	Dono do risco	Probabilidade (1-5)	Impacto (1-5)	Pontuação PI	Resultado esperado sem ação	Tipo de Resposta	Descrição da Resposta
	Descrição do risco	Causa do risco	Efeito no projeto	Nome da pessoa que monitoriza o risco	Estimativa aproximada da de quão provável este risco é de ocorrer	Estimativa aproximada de quão significativo é o impacto deste	Probabilidade multiplicada pelo impacto	O que irá acontecer se o risco se tornar um problema e nenhuma medida for tomada	Decisão tomada sobre como responder a este risco	Descrição concreta da medida a tomar
1	Não implementar todas as regras e sinais selecionados no início.	Âmbito excessivamente extenso.	O resultado final não ficará tão completo como previsto.	David Magalhães	3	3	9	O resultado final não ficará tão completo como previsto	Mitigar	Ordenar as regras e sinais a implementar por importância decrescente.
2	Não conseguir formar uma equipa de teste.	Número insuficiente de testers disponíveis.	Impossibilidade de avaliação da solução.	David Magalhães	2	4	8	Impossibilidade de avaliação da solução	Evitar	Procura-se alunos de condução e outros contactos.
3	Não construir um ambiente 3D apelativo.	Dificuldade em encontrar assets gratuitos para popular o cenário 3D.	Usabilidade Comprometida.	David Magalhães	2	4	8	Usabilidade Comprometida.	Aceitar	Como contingência, modelar assets essenciais que não sejam encontrados.

Anexo B – Lista de mensagens de infrações

Pontos	Mensagem (português)	Mensagem (inglês)
-10	Deve seguir em frente se não receber outra indicação.	You should go forward whenever possible.
-10	Deve virar à direita quando não puder ir em frente.	You should turn right when you cannot go forward.
-10	Foi-lhe indicado para virar à esquerda.	You were told to turn left.
-10	Foi-lhe indicado para virar à direita.	You were told to turn right.
-10	Saiu da via onde estava sem receber indicação para isso.	Exited the lane without being instructed to do so.
-10	Não devia ter vindo por aqui.	You were not supposed to come this way.
-10	Deve sair na primeira saída se não receber outra indicação.	You should take the first exit unless instructed otherwise.
-10	Foi-lhe indicado para sair na segunda saída.	You were told to take the second exit.
-10	Foi-lhe indicado para sair na terceira saída.	You were told to take the third exit.
-20	Luzes de direção inválidas.	Invalid turn lights.
-20	Não deve parar em cima da passadeira.	You should not stop on the crosswalk.
-20	Deve esperar que o peão atravesse.	You must wait for the pedestrian to cross.
-20	Para virar à esquerda, deve usar a via da esquerda.	To turn left, you must use the left lane.
-20	Para virar à direita, deve usar a via da direita.	To turn right, you must use the right lane.
-20	Para seguir em frente, deve usar a via da esquerda.	To go forward, you must use the left lane.
-20	Deve ir na via da direita quando for usar a próxima saída.	You should move to the right lane when taking the next exit.
-20	Só deve ir na via da direita quando for usar a próxima saída.	You should only move to the right lane when taking the next exit.
-100	Não parou no sinal STOP!	You did not stop at the STOP sign!
-100	Devia ter avançado!	You should have proceeded!
-100	Não tinha prioridade para avançar!	You did not have the right of way!
-100	O veículo à direita tem prioridade!	The vehicle on the right has the right of way!
-100	Deve dar prioridade à ambulância em marcha de emergência!	You must give way to the ambulance in emergency operation!
-100	Não obedeceu ao sinal de sentido proibido!	You did not obey the no-entry sign!
-100	Deve contornar a rotunda pela direita!	You must go around the roundabout to the right!
-100	Proibido circular em contramão!	You are on the wrong side of the street!
-100	Não obedeceu ao sinal de sentido obrigatório à esquerda!	You did not obey the mandatory left sign!
-100	Não obedeceu ao sinal de sentido obrigatório à direita!	You did not obey the mandatory right sign!
-100	Não obedeceu ao sinal de cedência de passagem!	You did not obey the yield sign!

-100	Proibido pisar ou transpor a linha contínua!	Do not cross the solid line!
-100	Não pode avançar quando a luz está vermelha!	You cannot go when the light is red!
-100	Colisão com veículo!	You collided with another vehicle!
-100	Não deve chocar com edifícios!	Avoid hitting buildings!
Game Over	Não pode atropelar peões!!!	You cannot run over pedestrians!!!

Anexo C – Inquérito

Simulador de Exame de Condução

O presente inquérito faz parte do projeto final de um aluno do curso de Mestrado em Engenharia Informática no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O projeto tem como objetivo construir uma ferramenta de aprendizagem, que consiste num simulador de condução focado nas regras e sinais constituintes do Código da Estrada.

As respostas a este inquérito são anónimas e têm como finalidade a avaliação do simulador por utilizadores externos representativos do público-alvo.

██████████ [Mudar de conta](#)



 Não compartilhado

Avançar



Página 1 de 6

[Limpar formulário](#)

Perfil do Utilizador


Esta secção pretende enquadrar as características do utilizador.

Indique o seu género. *

- Masculino
- Feminino
- Outro

Indique a sua data de nascimento. *

Data

dd/mm/aaaa 

Já tem carta de condução? *

- Tenho carta.
- Tenho exame teórico.
- Tive aulas teóricas.
- Ainda não iniciei as aulas.

Se tem carta, indique há quantos anos.

Sua resposta

Com que frequência joga videogames ou simuladores? *

- Muito frequentemente
- Frequentemente
- Às vezes
- Raramente
- Nunca

Resultados das Simulações

Nesta secção, são registadas as pontuações obtidas durante as simulações.

Pontuação na primeira simulação: *

Sua resposta

Pontuação na segunda simulação:

Sua resposta

Perguntas sobre a Simulação

Esta secção pretende aferir a utilidade do simulador.

Acha que esta simulação o/a ajuda a preparar para o exame real? *

- Bastante
- Mais ou menos
- Pouco
- Nada

Considera o simulador suficientemente realista? *

- Bastante
- Mais ou menos
- Pouco
- Nada

As mensagens de infrações são facilmente compreensíveis? *

- Bastante
- Mais ou menos
- Pouco
- Nada

Usabilidade

Esta secção pretende aferir a usabilidade do simulador.

Por favor, indique até que ponto concorda ou discorda com cada afirmação, numa escala de 1 a 5: *

1 = Discordo totalmente

2 = Discordo

3 = Nem concordo nem discordo

4 = Concordo

5 = Concordo totalmente

	1	2	3	4	5
Para tirar a carta, usaria este simulador frequentemente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achei o simulador desnecessariamente complexo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achei o simulador fácil de usar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Penso que precisaria de ajuda técnica para conseguir usar este simulador.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Achei que as várias funcionalidades do simulador estavam bem integradas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Achei que havia
demasiada
inconsistência no
simulador.

Imagino que a
maioria das pessoas
aprenderia a usar
este simulador
rapidamente.

Achei o simulador
pouco prático de
usar.

Senti-me confiante
ao usar o simulador.

Precisei de aprender
muitas coisas antes
de conseguir usar o
simulador.

Opiniões e Sugestões

Esta secção opcional pretende recolher opiniões e sugestões através de perguntas de resposta livre.

O que gostou mais na simulação?

Sua resposta

Que situações de trânsito acha que faltam neste simulador?

Sua resposta

O que mais gostaria de ver melhorado neste simulador?

Sua resposta

[Voltar](#)

[Enviar](#)



Página 6 de 6

[Limpar formulário](#)