

Modernização do Lane Change Task Uma Nova Ferramenta Baseada em Unity

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Tiago Augusto Noite Meneses
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade
www.uma.pt

abril | 2026

Modernização do Lane Change Task **Uma Nova Ferramenta Baseada em Unity**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Tiago Augusto Noite Meneses
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTAÇÃO
Filipe Magno de Gouveia Quintal



FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E DA ENGENHARIA

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Orientado por: Filipe Magno de Gouveia Quintal

Constituição do júri de provas públicas:

Nome completo (categoria), Presidente

Nome completo (categoria), Vogal

Nome completo (categoria), Vogal

29 de junho de 2026

Resumo

Com aumento da automatização nos veículos, especialmente a partir do nível 3 de condução autônoma, faz com que apareçam novos desafios como manter a atenção e o desempenho na estrada, para o condutor. Apesar das promessas existentes de maior segurança e eficiência, estes permitem ao condutor desviar a sua atenção para outras tarefas, podendo ser necessária a sua atenção em momentos críticos. Assim necessitando de ferramentas que permitam avaliar o impacto da distração durante a condução.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e validação de uma ferramenta de simulação de condução semelhante ao Lane Change Test que segue a norma ISO 26022. Esta consiste em uma plataforma portátil e configurável. Necessitando de um computador, um volante e pedais para reproduzir os cenários experimentais. A ferramenta permitirá facilitar o processo de recolha e análise de dados, e configurar os testes conforme necessário mas permitindo sempre usar o padrão.

Na validação deste sistema, foi realizado testes experimentais com participantes, seguindo uma metodologia semelhante à do padrão. Os resultados obtidos revelaram uma correlação positiva com os valores do sistema padrão, indicando uma tendência na reprodução dos valores comportamentais esperados. No entanto, a validação estatística é limitada pelo reduzido número de pontos de comparação disponíveis, pelas diferenças entre algumas das tarefas utilizadas e as do padrão, e o valor de *p-value* ser elevado, que não permite estabelecer significância estatística. Ainda assim, a ferramenta demonstrou capacidade para distinguir entre tarefas com diferentes níveis de exigência, sendo adequada para estudos exploratórios comparando tarefas entre si nas mesmas condições experimentais.

Conclui-se que a ferramenta desenvolvida demonstra potencial para realizar a análise no impacto das distrações durante a condução, oferecendo flexibilidade nos testes que pode realizar, Os trabalhos futuros deverão focar-se na expansão da amostra e no reforço da validação.

Palavras-chave: Automatização veicular · LCT- Lane Change Test · Distração na condução · Multitarefa

Abstract

With the increasing automation in vehicles, especially from level 3 autonomous driving onwards, new challenges arise, such as maintaining attention and performance on the road for the driver. Despite existing promises of greater safety and efficiency, these tools allow the driver to divert their attention to other tasks, potentially requiring their attention at critical moments. Therefore, tools are needed to assess the impact of distraction while driving.

This work aimed to develop and validate a driving simulation tool similar to the Lane Change Test, which follows the ISO 26022 standard. This tool consists of a portable and configurable platform, requiring a computer, steering wheel, and pedals to reproduce experimental scenarios. The tool will facilitate the data collection and analysis process and allow for the configuration of tests as needed, while always allowing the use of the standard.

In the validation of this system, experimental tests were conducted with participants, following a methodology similar to that used by the standard as a reference. The results obtained revealed a positive correlation with the values of the standard system, indicating a tendency towards reproducing the expected behavioral values. However, statistical validation is limited by the reduced number of available comparison points, the differences between some of the tasks used and those of the standard, and the p-value obtained ($p = 0.319$), which does not allow establishing statistical significance. Even so, the tool demonstrated the ability to distinguish between tasks with different levels of difficulty, being suitable for exploratory studies where the objective is to compare tasks with each other under the same experimental conditions.

It is concluded that the developed tool demonstrates potential for analyzing the impact of distractions while driving, offering flexibility in the tests it can perform. Future work should focus on expanding the sample and strengthening the validation.

Keywords: Vehicle automation · LCT- Lane Change Test · Distraction while driving · Multi-tasking

Agradecimentos

Quero expressar a minha gratidão ao meu orientador de tese, Dr. Filipe Quintal, por toda a ajuda, suporte e disponibilidade no desenvolvimento desta tese.

Gostaria também de agradecer aos meus colegas e família pelo suporte durante o desenvolvimento desta aplicação.

Por fim, quero dar os meus agradecimentos aos participantes do estudos e aos membros do júri por tornarem o desenvolvimento da tese possível.

Conteúdo

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
1 Introdução.....	1
1.1 Solução proposta.....	3
1.2 Estrutura do relatório	7
2 Revisão de literatura	8
2.1 Transmissão de informação:	9
2.2 Impacto das tarefas secundárias na condução:	11
2.3 Comparação entre dois indivíduos:.....	12
2.4 Efeitos de aprendizagem:.....	14
2.5 Metodologias utilizadas.....	15
2.6 Síntese	17
3 Ferramentas utilizadas	19
3.1 Unity	19
3.2 Visual Studio Code	22
3.3 Assets da Unity Asset Store e Sketchfab	23
4 Implementação da Solução	26
4.1 Arquitetura do projeto	26
4.2 Evolução do projeto	29
4.3 Componentes anteriormente existentes	29

4.3.1 Organização do projeto	30
4.3.2 Cenas existentes	30
4.3.3 Código existente	30
4.3.4 Modelos existentes	31
4.3.5 Fluxo de um Teste	32
4.4 Contributos implementados no âmbito da tese	32
4.4.1 Adição de novos modelos e alteração dos existentes	32
4.4.2 Código adicionado	32
4.4.3 Sistema de Partículas	34
4.4.4 Otimizações de desempenho	34
4.4.5 Adição de novas Sky-boxes.....	35
4.4.6 Alteração do sistema de input.....	35
4.4.7 Criação da cena de testes	35
4.5 Assets gráficos	35
4.6 Sistema de input	36
4.6.1 Sistema de input antigo (Input Manager)	37
4.6.2 Sistema de input novo (Input System)	37
4.6.3 Instalação e configuração do novo sistema de input	37
4.7 Mudanças das sky-boxes	40
4.8 Sistema de partículas e efeitos visuais	40
4.8.1 Sistema de partículas	40
4.8.2 Volumes	43
4.9 Cena de testes do veículo	44

4.10 Scripts e lógica de controlo	45
4.10.1 CarControls	45
4.10.2 ConditionManager	45
4.10.3 MovableObjects	46
4.10.4 SuspensionCar	47
4.10.5 Traffic Manager	49
4.10.6 ChangeRoad	49
4.10.7 StartLine	49
4.10.8 FormMenus	50
4.10.9 Lockrotation	50
4.10.10 OptionMenu	50
4.10.11 ResetLevel	50
4.10.12 SceneChanging	51
4.10.13 ShowWarning	51
4.10.14 SignalPosition	51
4.10.15 StoreValues	52
4.10.16 CarMovement	52
4.10.17 Spawn images	53
4.11 Otimizações de desempenho	53
4.11.1 Otimização ao nível do código	55
4.11.2 Otimização na gestão da câmara	55
4.11.3 Otimizações na iluminação e sombra	55
4.11.4 Objetos estáticos	56

4.11.5 Ajustes na High Definition Render Pipeline	56
4.11.6 Síntese das otimizações	56
5 Testes com Participantes.....	57
5.1 Procedimento dos testes	58
5.2 Métricas	61
6 Análise e Discussão dos Resultados	63
6.1 Metodologia de Recolha de Dados	63
6.2 Caracterização da Amostra	64
6.3 Análise do Desvio Lateral Médio (MDEV)	64
6.4 Análise dos Índices de Desempenho de Tarefas Secundarias(SPT).....	66
6.5 Discussão dos Resultados	67
6.6 Limitações.....	71
6.7 Conclusão	71
7 Conclusão	73
7.1 Trabalhos futuros	74
Referências	83

Lista de Figuras

1	Exemplo de uma mudança de faixa realizada no LCT	2
2	Exemplo dos sinais da pista no LCT	2
3	Input termal e setup	9
4	Setup do estudo com óculos VR em motocicletas	10
5	Desvio padrão de cada tipo de feedback no estudo [3]	10
6	Setup utilizado para verificar a distração de diferentes formas de input	12
7	Surrogate Reference Task	13
8	Critical Tracking Task	14
9	Setup do estudo [6]	16
10	Cenas do projeto	21
11	Física num objeto	21
12	Editor de Visual Studio Code	22
13	Extensões utilizadas no Visual Studio Code	23
14	Utilização do Visual Studio Code em conjunto com Unity	23
15	WebSite do Scketchfab	24
16	WebSite do Unity Asset Store	25
17	Separação do projeto em camadas	27
18	Organização dos ficheiros no Unity	30
19	Autocarro Natacomy Bus	36
20	Camião da Scania.	36

21 Veículo que serve como um carro comum	37
22 Passos iniciais da instalação do sistema de input	38
23 Passos finais da instalação do package manager	38
24 Selecionar para usar ambos os sistemas de input	38
25 Criar as ações do veículo	38
26 Controlos do veículo	39
27 Sky-boxes utilizadas no projeto	41
28 Chuva no LCT	42
29 Neve no LCT	43
30 Configurações do nevoeiro	43
31 Cena de teste	44
32 1.Noite 2. Neve 3. Chuva 4.Nevoeiro	45
33 Simulação de trânsito na estrada	46
34 A suspensão demonstrada como linhas verdes que interagem com o chão	48
35 Aviso de saída de faixa de rodagem	52
36 Demonstração da aparição dos sinais consoante a aproximação	54
37 Setup utilizado na realização dos testes	59
38 Horário utilizado na tarefa dos horários	64
39 Tarefa dos botões e telemóvel	65
40 Tarefa do GPS e do som	65

Lista de Tabelas

1	Comparação dos valores de MDEV entre a ferramenta desenvolvida e o sistema de referência	66
2	Desvio padrão em cada tarefa	68
3	STP — índices do tempo médio por tarefa	68
4	STP — índices do número de erros médio por tarefa.....	69

Lista de Acrónimos

CPU Central Processing Unit

DALI Driving Activity Load Index

GPS Global Positioning System

GPU Graphics Processing Unit

ISO International Organization for Standardization

KSS Karolinska Sleepiness Scale

LCT Lane Change test

MDEV Diferença entre o percurso de referencia e o percurso realizado pelo participante

NASA-TLX NASA Task Load Index

1 Introdução

Nestes últimos anos, o número de veículos autónomos tem vindo a aumentar nas estradas, com uma maior capacidade de condução sem a intervenção do ser humano / condutor. Estes veículos podem ser separados em 6 níveis. Sendo estes:

- **Nível 0:** O condutor controla o veículo na sua totalidade. Não existe qualquer tipo de automatização.
- **Nível 1:** O condutor controla o veículo lateralmente ou longitudinalmente enquanto o veículo controla lateralmente ou longitudinalmente, tendo o condutor de monitorizar este controlo.
- **Nível 2:** O condutor supervisiona o controlo do veículo feito pela automatização enquanto o veículo controla lateralmente e longitudinalmente, em determinadas condições.
- **Nível 3:** O condutor não tem de estar a monitorizar constantemente o veículo, mas tem de ser capaz de controlar, este caso necessário. O veículo, tal como no segundo nível, controla lateralmente e longitudinalmente, mas reconhece os seus limites e pede assistência do condutor caso necessário.
- **Nível 4:** O condutor não é essencial durante casos de utilização definidos, pois o sistema é capaz de fazer face a estes.
- **Nível 5:** O sistema é totalmente autónomo, não necessitando do condutor, pois consegue resolver qualquer situação existente.

Só a partir do nível 3 é que são realmente considerados veículos autónomos. É esperado que o número destes venha a aumentar nos próximos anos [1]. Com estes vêm as promessas de melhorar a segurança nas estradas reduzindo acidentes e congestionamento, melhorar a acessibilidade para grupos de pessoas e melhorar a produtividade permitindo aos condutores terem mais tempo livre dentro do veículo, o que leva a que o condutor mude a atenção da estrada para a atividade que quer realizar. Caso apareça um obstáculo não reconhecido ou detetado pelo veículo pode ser necessário a intervenção do condutor. Esta junção de eventos eleva a possibilidade de um acidente.

Para testar tais circunstâncias em segurança, foram criadas ferramentas de simulação como o *Lane Change Test* [2] (LCT) , que permitem medir o impacto que as atividades secundárias, como

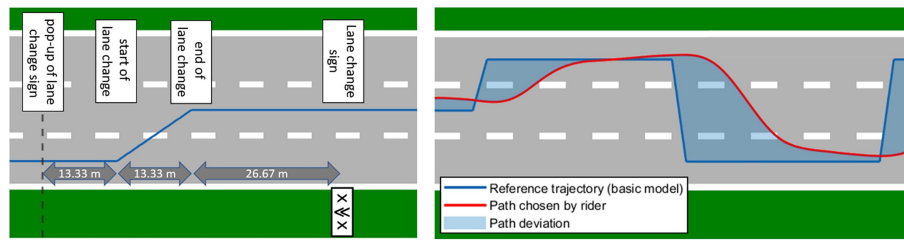


Figura 1. Exemplo de uma mudança de faixa realizada no LCT

colocar coordenadas no GPS, procurar por um objeto em particular ou alterar o volume do rádio podem ter na condução no caso de ser necessário realizar uma mudança de faixa como apresentado na Figura 1 e Figura2.

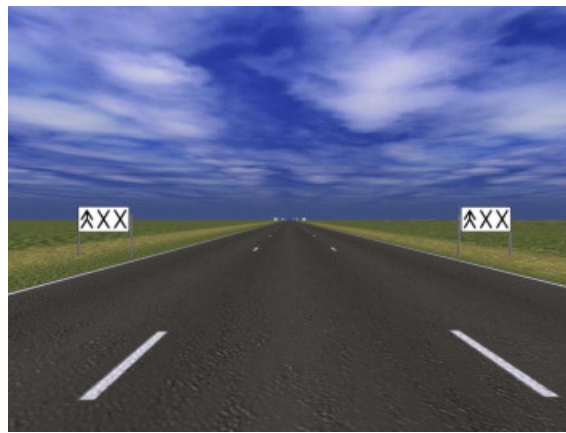


Figura 2. Exemplo dos sinais da pista no LCT

Nestas ferramentas os condutores conduzem normalmente numa faixa de 3 quilómetros com 3 faixas rodoviárias. Estes têm de responder aos dezoito sinais de trânsito, como apresentado na figura 2, que indicam para que faixa devem mudar, executando as mudanças de faixa de forma correta e no momento certo. Simultaneamente à condução é pedido para realizar outras tarefas para medir o desvio do centro da faixa durante a tarefa. Com isto conseguem verificar se as tarefas degradam a condução verificando se estas afetam o tempo. Estas ferramentas são simulações não sendo necessário fazer os testes físicos com veículos, assim garantindo a segurança dos participantes. No âmbito do presente trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta semelhante ao LCT com principal objetivo de validar, comparando os valores de desvio lateral obtidos com o sistema de referência. No entanto, a ferramenta apresenta limitações relevantes, nomeadamente a ausência de configurações que permitam adaptar o teste a novos cenários experimentais, bem como a falta de compatibilidade com sistemas mais recentes, comprometendo assim a sua portabilidade e reutilização.

Motores de jogo como o Unity apresentam-se como uma alternativa relevante para a implementação de simuladores de condução orientados ao LCT, permitindo arquiteturas modulares com separação da lógica, recolha de métricas e visualização, facilitando a reutilização da ferramenta. Sendo multiplataforma assegura ainda a portabilidade entre diferentes sistemas e configurações de hardware.

1.1 Solução proposta

A solução proposta neste projeto, consiste no desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de condução concebida para permitir a realização de testes experimentais com participantes, recorrendo a um sistema composto por um computador, um volante e pedais.

O objetivo principal é disponibilizar uma plataforma facilmente configurável e portátil, capaz de reproduzir o Lane Change Test (LCT) de acordo com a norma ISO e conforme esta [2] temos:

"O método mede a degradação de desempenho na tarefa primária de condução enquanto uma tarefa secundária é executada, fornecendo uma estimativa da exigência da tarefa secundária. O método aplica-se a todos os tipos de interações com sistemas de informação, comunicação, entretenimento e controlo veicular."

Os requisitos(REQ) de software identificados por esta para reproduzir o LCT estão descritos a baixo:

- REQ 1 - Deve ser registado: género, idade, experiência de condução, experiência anterior com LCT
- REQ 2- Característica força-deslocamento do volante deve ser aproximadamente linear
- REQ 3-Força tangencial máxima para virar o volante: 20 N
- REQ 4- Força de centramento (breakout) máxima: 12 N (opcional)
- REQ 5- Atraso total entre input do volante e resposta visual: < 120 ms
- REQ 6- Resolução do sensor do volante: < 1,5 graus
- REQ 7- O veículo deve completar uma volta de 360° em 13-17 s quando o volante está a 90° e velocidade é 60 km/h

- REQ 8- Parâmetros do veículo devem ser gravados a taxa de amostragem mínima de 10 Hz por metro ou 166.7 Hz por segundo a uma velocidade de 60km/h
- REQ 9- Parâmetros a gravar: posição na pista, ângulo de direcção, ângulo de heading, taxa de yaw.
- REQ 10- A estrada simulada deve consistir numa pista reta com três faixas
- REQ 11- Série de mudanças de faixa devem ser definidas por sinais colocados à beira da estrada em intervalos aproximadamente regulares
- REQ 12- A estrada deve estar localizada numa planície com fundo verde
- REQ 13- Cor da superfície da estrada: cinzenta (como estrada pavimentada típica)
- REQ 14- Marcações das faixas: brancas
- REQ 15- Ponto de vista (eye point) da câmara: 120 cm $\pm$ 10 cm acima da superfície da estrada
- REQ 16- Perspetiva de câmara deve ser consistente com a de um automóvel de passageiros típico
- REQ 17- Borda inferior do sinal deve estar 1,0 m acima do solo
- REQ 18- Seta para baixo no sinal "Lane Change" indica a faixa-alvo
- REQ 19- Sinais "Lane Change" devem mostrar três variantes: seta para esquerda, centro e direita
- REQ 20- Dimensões do sinal "START" podem ser iguais ao sinal "Lane Change"
- REQ 21- Cores do sinal "START" devem ser diferentes dos sinais "Lane Change"
- REQ 22- Sinal "START" deve aparecer aproximadamente 150 m antes do primeiro sinal "Lane Change"
- REQ 23- Velocidade especificada e limitada a 60 km/h
- REQ 24- Duração do teste: aproximadamente 180 s por pista
- REQ 25- Número de pares de sinais "Lane Change": 18 pares ao longo da pista

- REQ 26- Sinais "Lane Change" devem estar sempre visíveis mas em branco até aparecerem indicações
- REQ 27- Indicações nos sinais devem aparecer (pop-up) a 40 m antes dos sinais
- REQ 28- Distância média entre sinais: 150 m
- REQ 29- Distância mínima entre sinais: 140 m mais variável aleatória exponencialmente distribuída com média de 10 m
- REQ 30- Duração média entre duas mudanças de faixa: aproximadamente 9 s (a 60 km/h)
- REQ 31- As seis possíveis mudanças de faixa devem ser balanceadas dentro de 18 pares de sinais
- REQ 32- Balanceamento aplica-se também a pistas mais longas que 3 000 m
- REQ 33- Se o número total de pares não for múltiplo de 18, balanceamento deve ser feito o máximo possível
- REQ 34- Ordem de apresentação dos sinais deve ser aleatória entre diferentes runs
- REQ 35- Ordem aleatória deve evitar efeitos de aprendizagem
- REQ 36- Mínimo de 5 diferentes ordens devem ser usadas aleatoriamente para diferentes runs

A ferramenta foi desenvolvida com o intuito de replicar, de forma controlada, a estrutura e os princípios definidos na norma, procurando garantir que os resultados obtidos possam ser comparáveis com os valores de referência estabelecidos. O ambiente de simulação foi construído respeitando o padrão fornecido pelo LCT.

Para assegurar a replicabilidade desta solução em diferentes contextos acadêmicos, o projeto foi desenvolvido como open source no repositório GitHub¹, com documentação completa e executável disponível no SourceForge². Esta abordagem contribui para resolver um problema crítico na comunidade científica: a consistência e transparência nas implementações do LCT.

¹<https://github.com/TiagoNoite/Lane-Change-Test>

²<https://sourceforge.net/projects/lane-change-test/>

A norma ISO 26022 define os requisitos base para implementar o Lane Change Test. Além destes requisitos, a solução introduz funcionalidades adicionais que permitem aos investigadores reproduzir diferentes cenários e condições experimentais:

- Alteração do comprimento da estrada;
- Modificação da distância entre sinais;
- Ajuste das condições de tráfego;
- Configuração das condições climatéricas (ex.: chuva ou neve);
- Ajuste da velocidade do veículo

Estas opções permitem realizar testes em cenários variados sem necessidade de alterações no sistema, eliminando a dependência de fatores externos e ampliando o espectro de investigações possíveis assim aumentando a flexibilidade dos testes a que podem ser realizados.

Nesta ferramenta, a recolha de dados é tratada pelo sistema, realizando a exportação das métricas recolhidas automaticamente, durante cada teste, para um ficheiro Excel. Este mecanismo simplifica o processo de análise estatística posterior, reduzindo o risco de erro humano na transição de dados e aumentando a eficiência do tratamento de dados.

A solução foi ainda desenvolvida com foco na simplicidade de utilização, não exigindo conhecimentos técnicos avançados por parte dos investigadores ou participantes. A configuração dos testes pode ser realizada através de parâmetros ajustáveis, tornando o sistema acessível e facilmente replicável em diferentes contextos académicos.

O objetivo final da ferramenta é permitir a análise do comportamento do condutor durante a execução simultânea de tarefas primárias (condução) e tarefas secundárias, avaliando métricas como desempenho lateral, controlo do veículo e resposta a estímulos externos.

Com base nos resultados obtidos, pretende-se validar a ferramenta como um instrumento adequado para estudos futuros na área.

1.2 Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em 7 capítulos. O capítulo 2 consiste na revisão de literatura, abordando as diferentes formas que os Lane Change Test foi utilizado como a transmissão de informação, o impacto das tarefas secundárias na condução, a comparação entre indivíduos, os efeitos de aprendizagem e as metodologias utilizadas nestes mesmos testes.

O capítulo 3 descreve as ferramentas utilizadas no desenvolvimento, nomeadamente o Unity, o Visual Studio Code e os websites como Sketchfab e Unity Asset Store. O capítulo 4 demonstra como foi realizada a implementação do projeto, apresentando os componentes que foram atualizados em conjunto com o que foi adicionado nesta tese, também é apresentado o que foi utilizado na construção e as otimizações realizadas no projeto.

O capítulo 5 descreve os testes realizados com participantes, o respetivo procedimento e as métricas retiradas destes testes . O capítulo 6 apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos. Por fim, o capítulo 7 expõe as conclusões do trabalho e os possíveis trabalhos futuros.

2 Revisão de literatura

O LCT, como já foi referido, é uma ferramenta bastante utilizada de forma que os participantes conduzam em condições seguras enquanto este, ao mesmo tempo, recolhe métricas da condução dos participantes. Os artigos aqui mencionados apresentam diversas utilizações do LCT.

Foram analisados vários artigos, sendo estes separados por temas. Os principais temas analisados são os seguintes: impacto das tarefas secundárias na condução, comparação entre dois tipos de participantes, teste de novos métodos de transmitir informação, e efeitos de aprendizagem no LCT. Nestes são referidas métricas como o desvio médio ou MDEV, o Desvio padrão da posição lateral ou SDLP, tempo de reação às mudanças de faixa, precisão e velocidade nas tarefas secundárias. A descrição destas encontra-se abaixo:

- **Desvio Médio (MDEV)** — Desvio lateral médio da trajetória em relação à linha central da faixa durante a realização do circuito, medido em metros.
- **Desvio Padrão da Posição Lateral (SDLP)** — Variabilidade da posição lateral do veículo durante as mudanças de faixa. Valores baixos indicam condução estável e controlada, valores elevados indicam instabilidade, oscilação lateral e perda de controlo fino de direção.
- **Tempo de Reação às Mudanças de Faixa** — Intervalo de tempo entre o surgimento do sinal e o início da manobra, medido em segundos. Tempos baixos indicam prontidão e atenção do participante, tempos elevados podem indicar distração ou execução de tarefa secundária.
- **Precisão nas Tarefas Secundárias** — Taxa de acerto na execução da tarefa secundária, refletindo a capacidade do participante em realizar a tarefa corretamente sem comprometer a atenção à condução;
- **Velocidade nas Tarefas Secundárias** — Tempo necessário para executar a tarefa secundária. Valores elevados podem indicar tarefa simples; valores baixos podem indicar exigência elevada ou sacrifício de velocidade para manter atenção na condução.

De seguida, iremos aprofundar cada um destes temas mencionando sobre o que abordam, como realizam os testes e resultados obtidos.

2.1 Transmissão de informação:

O principal objetivo destes estudos é promover uma nova forma de os condutores poderem realizar as tarefas enquanto dirigem o veículo e os investigadores observam os efeitos que estas tem durante a condução.

Algumas das principais tecnologias usadas nestes estudos foram por exemplo, combinar vários tipos de feedback para o utilizador como visual auditivo, háptico e termal, foram usadas mensagens subliminares para ajudar o condutor, usaram óculos VR para assistir o condutor, fornecer novos métodos para o condutor transmitir informação para o veículo como botões físicos, toque, gestos no ar, a fala e controlo ocular.

Nestes os investigadores também tiveram o cuidado fazer o teste de forma imersiva sendo usado na grande maioria volante e pedais, um deles utilizou um dashboard de um veículo [3], em alguns destes estudos foram usadas simulações diferentes do LCT com o mesmo objetivo. Nestes artigos [4] e [5] o setup deste encontra-se na (Figura 3), duas destas investigações usaram óculos de realidade virtual [6] e [7] , num destes o teste foi realizado num ambiente altamente imersivo com um modelo do veículo completo e um par de óculos que transmitem a informação para o condutor como está apresentado na Figura 4.



Figura 3. Input termal e setup

Destes estudos concluímos que certas formas de transmitir a informação apresentavam melhores resultados que outras. Por exemplo em [3] foi observado que os participantes preferiam usar vários tipos de feedback mas que utilizar mais do que 2 tipos de feedback em conjunto piorava ligeiramente o desempenho, como pode ser visto na Figura 5, já no estudo [8] foi observado que interfaces apenas visuais ou hápticas pioravam o desempenho dos participantes enquanto que a junção das duas teve menor impacto na performance. Em [4] foi testada a hipótese de conduzir com mensagens



Figura 4. Setup do estudo com óculos VR em motocicletas

subliminares mas acabou não demonstrando se melhorou ou não a performance dos participantes, e em [7] foram usados óculos de realidade virtual para motociclistas e foi notado que em certas tarefas ajudava e outras não, isto porque dependia bastante do tipo de tarefa proposta. Neste estudo foi visto que usando o dashboard e os óculos o desvio padrão era perto de 1.7 metros mas o uso dos óculos fez com que os condutores obtivessem um tempo de reação na maioria perto dos 2 segundos enquanto que usando o dashboard este tinha uma média de 2.5 segundos.

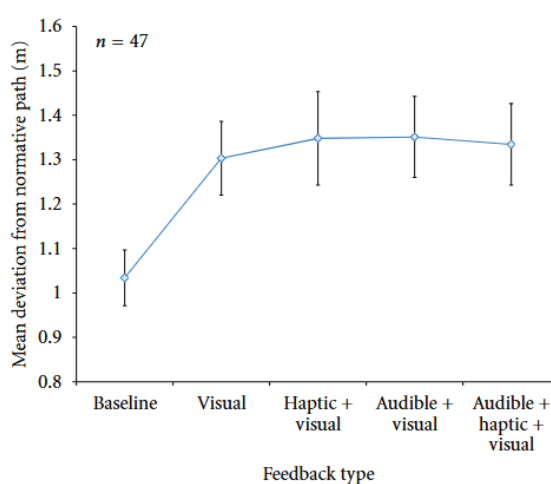


Figura 5. Desvio padrão de cada tipo de feedback no estudo [3]

2.2 Impacto das tarefas secundárias na condução:

Nestes estudos, os investigadores tentaram observar a influência de realizar uma tarefa secundária enquanto é conduzido um veículo. Foram usadas diferentes tarefas e ferramentas ao longo dos estudos.

Alguns exemplos das principais tarefas concretizadas nos respetivos estudos foram: marcar coordenadas num sistema de GPS que foi usado nos artigos [9] e [10], esta é enunciada ser das tarefas mais difíceis de ser concretizada. O Surrogate Reference Task (SuRT) que foi usado por [11] e [12] é uma tarefa que necessita da visão para ser concluída. Contar de N a N números foi usada em [13], é uma tarefa cognitiva. A N back task utilizada por [14], consistia por repetir o número apresentado N posições anteriormente na sequência, constituindo assim uma tarefa de natureza cognitiva. O CTT ou critical tracking task, esta é uma tarefa mais visual e stenbergs auditory memory task(COTA) [15] que é uma tarefa auditiva. Estas tarefas foram aplicadas para colocar carga, de alguma forma, nos participantes, pressionando para a realização das tarefas. As tarefas foram sempre executadas em conjunto com o LCT, caso os participantes não conseguissem conduzir e realizar a tarefa simultaneamente então tinham de dar prioridade a condução.

Para além das tarefas realizadas, os investigadores esforçaram-se para tornar o sistema imersivo sendo que na maioria, foram utilizados pedais e volante para condução, no entanto houve dois estudos que não apontam de que forma o teste foi efetuado.

Com base nos resultados obtidos nestes estudos, concluímos que a tarefa secundária tem um grande efeito na performance dos condutores, mas esta depende da sua natureza, podendo ser mais agravado com tarefas manuais e melhorado com tarefas cognitivas. O trabalho de [11] demonstrou que, sem tarefas secundárias, o desvio padrão médio do percurso, seguindo as recomendações da ISO, foi de aproximadamente 0,6 metros. Com tarefas cognitivas difíceis, esse valor aumentou para cerca de 0,8 metros, e com tarefas visuais difíceis chegou a aproximadamente 1,0 metro. Além disso, no estudo de [9], foi observado que, ao utilizar comandos de voz como input, os resultados das tarefas em modo fácil e na condição de baseline apresentaram um desvio padrão médio maior em comparação ao uso da interface manual. Os valores foram os seguintes: na baseline, o desvio padrão foi de 0,85 metros para a interface manual e de 0,96 metros para a interface de voz. Na tarefa "point of interest", os desvios foram de 1,07 metros com a interface manual e de 1,16 metros com a interface de voz. No entanto, para essa mesma tarefa no modo difícil, o desvio padrão foi

de 1,21 metros com a interface manual e de 1,16 metros com a interface de voz. Apesar disso, a interface de voz apresentou uma inicialização da mudança de faixa mais tardia e exigiu mais tempo para completar a tarefa, em comparação com a interface manual. O setup deste pode ser observado na Figura 6.



Figura 6. Setup utilizado para verificar a distração de diferentes formas de input

2.3 Comparação entre dois indivíduos:

Nestes estudos, o principal foco foi a comparação entre diferentes grupos de indivíduos. As principais comparações realizadas incluem:

- Indivíduos com privação de sono e indivíduos sob o efeito de álcool [16].
- Indivíduos sob o efeito de álcool e outros em que foi utilizado um placebo para simular o consumo de álcool [17].
- Diferenças nas capacidades de condução entre géneros [18].
- Indivíduos neurotípicos e indivíduos diagnosticados com autismo [19].
- Indivíduos neurotípicos e indivíduos diagnosticados com esclerose lateral amiotrófica [20].
- Indivíduos saudáveis e indivíduos em abstinência de drogas [21].
- Indivíduos idosos e indivíduos jovens ou adultos [22].

As principais tarefas utilizadas nesses estudos incluem o Critical Tracking Task (CTT), tarefas de memória como o N-back task, SuRT ilustrado na Figura 7, realização de tarefas manuais, contagem de números em intervalos fixos, resposta a conversas, ajuste de frequências de rádio, e o Visual Probe Task, que avalia a atenção dos participantes com base em estímulos visuais. Além disso, foi usado o D2 Test of Attention em alguns casos.

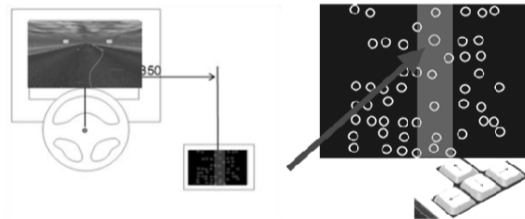


Figura 7. Surrogate Reference Task

Os métodos de condução variaram entre os estudos, mas, na maioria dos casos, os participantes conduziram um veículo num simulador equipado com volante e pedais. Em algumas pesquisas, utilizou-se um projetor para a exibição das imagens, enquanto outras optaram por três telas dispostas lado a lado, inseridas no cockpit de óculos um Range Rover Evoque. Para aumentar o nível de imersão, alguns simuladores também integraram efeitos sonoros do veículo.

Na investigação de Mamo et al. [19] foi obtido os seguintes resultados, no desvio padrão foram obtidos valores ligeiramente mais altos com 0.36 metros na baseline para os indivíduos diagnosticados com autismo enquanto os indivíduos neurotípicos obtiveram 0.31 metros já após realizarem a tarefa N back task em qualquer dificuldade esta diferença aumentou bastante, e com maior evidência na segunda dificuldade da tarefa com os indivíduos diagnosticados com autismo tendo 0.9 metros enquanto os indivíduos neurotípicos obtiveram 0.57 metros no desvio padrão médio. No estudo [20] foram obtidos valores melhores para os indivíduos neurotípicos com a baseline a 0.5 metros, enquanto que os indivíduos diagnosticados com esclerose lateral amiotrófica tiveram 0.6 metros, esta diferença manteve-se para as tarefas motoras e visuais em conjunto com um aumento do desvio padrão, mas para as tarefas cognitivas a diferença entre estes indivíduos no desvio padrão não se apresentou ficando ambos os valores no 1.3 metros.

2.4 Efeitos de aprendizagem:

Estes estudos focaram-se nos efeitos de aprendizagem do LCT e de simulações relacionadas sobre os resultados obtidos.

Os participantes tinham de treinar o LCT e as tarefas secundárias em várias sessões, permitindo que os investigadores avaliassem como o treino influenciava a condução. Em algumas abordagens, os participantes eram testados meses após a primeira sessão para verificar se o efeito de aprendizagem se mantinha, [23]. Outros estudos analisaram se as habilidades adquiridas podiam ser transferidas para tarefas similares, [24]. Adicionalmente, foi investigado se variações na metodologia de treinamento influenciavam os resultados posteriores, [25].

Os principais métodos de condução envolveram o uso de volante e pedais conectados a um computador. As tarefas secundárias realizadas incluíram o Near Transfer Task, SuRT, input num sistema de navegação e Critical Tracking Task como demonstrado na Figura 8.

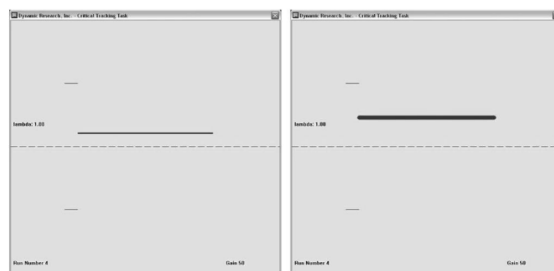


Figura 8. Critical Tracking Task

Os resultados indicaram que havia efeitos de aprendizagem significativos tanto no LCT quanto nas tarefas secundárias, com o treino melhorando o desempenho. Contudo, os efeitos de aprendizagem eram mais evidentes entre tarefas similares. Foi também observado que esses efeitos eram duradouros, permitindo aos participantes reter as habilidades adquiridas mesmo após longos períodos de inatividade. Por fim, destaca-se a importância de garantir uma quantidade adequada de treino para estabilizar o desempenho e evitar que os resultados da investigação sejam enviesados. No estudo [23] foi visto que os participantes que não receberam treino obtiveram resultados perto dos 1.3 metros no desvio padrão para a primeira dificuldade da tarefa secundaria enquanto os que receberam treino quer do LCT e da tarefa secundária obtiveram valores perto de 1.2 e 1.3 metros respetivamente, todos os grupos pioraram com a dificuldade da tarefa sendo que o pior é o grupo

que não recebeu treino, com um desvio padrão de 1.4 metros. O número de respostas certas na tarefa secundária também foi influenciado pelo treinamento mas é os efeitos são mais visíveis na maior dificuldade. O mesmo foi concluído com os resultados obtidos dos testes com o LCT e a tarefa CTT em que o treino permite ter melhores resultados. Já para a durabilidade dos efeitos do treino foi usado só o CTT como tarefa secundária, e estes demonstraram que mesmo passando meses após o treino os participantes conseguem obter bons resultados em comparação com os que não receberam treino nenhum.

2.5 Metodologias utilizadas

Diversos estudos sobre desempenho de condução e multitasking utilizaram o Lane Change Test (LCT) como tarefa primária para avaliar a atenção, o controlo lateral e a capacidade de multitarefa em ambientes simulados. O LCT nestes testes consiste tipicamente de um percurso de aproximadamente 1,8 a 3 km, com 18 mudanças de faixa, onde os participantes devem manter-se corretamente na faixa e reagir de forma segura aos sinais de trânsito. Em grande parte dos testes, os participantes foram instruídos a priorizar a condução, mesmo quando submetidos a tarefas secundárias, com exceção daqueles em que o objetivo era avaliar a capacidade dos condutores explicitamente [15].

As tarefas secundárias variam entre estudos e incluem componentes visuais, manuais e cognitivas, como: Surrogate Reference Task (SuRT), tarefas de leitura de mensagens (smartphone ou Google Glass), introdução de endereços ou pontos de interesse (POI), seleção de menu (visual ou háptico), N-back auditivo e testes de atenção como o d2 Test. Em geral, as tarefas secundárias são aplicadas uma de cada vez, durante blocos de dual-task, podendo incluir condições com ou sem pressão de tempo, e podendo ser selecionadas aleatoriamente ou em blocos de uma por pista.

O material de condução incluiu simuladores de computador, cockpits parciais ou projeção curva, volantes e pedais, ecrãs múltiplos ou HUDs para apresentação de tarefas secundárias e, em alguns casos, eye-tracking para monitorização da atenção visual. Um dos setups utilizados que demonstra os materiais utilizados é demonstrado na figura 9.

Os participantes são adultos de meia-idade na grande maioria dos casos com idosos a participar num dos testes devido ser o objetivo de estudo o tempo de reação destes. A idade varia entre 18 e 73 anos mas com grande parte dos participantes a terem uma idade entre os 20 a 40 anos



Figura 9. Setup do estudo [6]

de idade. Grande parte são voluntários, saudáveis e possuem experiência de condução adequada. Alguns estudos incluem grupos com características específicas, como indivíduos com autismo ou sujeitos expostos a álcool ou privação de sono.

O procedimento experimental seguiu, na maioria dos casos, um padrão consistente:

Treino prévio: prática isolada do LCT e da tarefa secundária, seguida de prática combinada (dual-task), até atingir critérios de desempenho (por exemplo, $MDEV < 1,2$ m).

Execução dos testes: baseline de condução isolada → execução de dual-task → baseline final (quando aplicável), com ordem das condições frequentemente contrabalançada ou aleatorizada.

Intervalos e avaliações subjetivas: Alguns testes possuem pausas curtas entre blocos e aplicação de questionários de carga de trabalho, distração ou sonolência (por exemplo, NASA-TLX, DALI, KSS).

As métricas de desempenho focam-se no desvio lateral (SDLP), desvio médio (MDEV), tempo de reação às mudanças de faixa, precisão e velocidade nas tarefas secundárias. Estes indicadores permitem avaliar tanto o desempenho na tarefa primária quanto o impacto que multitasking teve na condução.

Em suma, os estudos demonstram um protocolo experimental padronizado e robusto, que combina treino prévio, baselines, execução de tarefas dual-task e métricas objetivas, permitindo avaliar com rigor os efeitos da multitarefa e de fatores individuais sobre a condução em simuladores. Estes temas evidenciam o potencial do LCT como ferramenta mas também demonstra as suas limitações. A necessidade de usar outras simulações como foi observado, reforça o desafio de criar sistemas versáteis que possam replicar esses contextos. O objetivo deste trabalho é justamente criar esse sistema permitindo não só replicar os cenários no LCT mas também os dos estudos que usaram outras ferramentas.

2.6 Síntese

A revisão de literatura analisou as principais aplicações e limitações do LCT, destacando sua relevância como ferramenta para avaliar o comportamento de condução de forma segura e eficaz. No entanto, a revisão também evidenciou que sua complexidade e limitações levam os investigadores a buscar alternativas.

Os estudos analisados demonstram que o LCT tem sido utilizado para investigar vários temas como:

- Nos estudos sobre novos métodos de transmissão de informação, observou-se que tecnologias como feedback multimodal (visual, auditivo, háptico, e termal) [3], e o uso de óculos de realidade virtual, [7], podem melhorar ou piorar o desempenho, dependendo da tarefa e do contexto.
- Os estudos sobre o impacto de tarefas secundárias na condução destacam que a natureza dessas tarefas (cognitivas, manuais ou visuais) influencia significativamente o desempenho dos participantes, [11], com tarefas manuais geralmente tendo maior impacto negativo.
- A comparação entre grupos de indivíduos mostrou que fatores como privação de sono, efeito de substâncias, diferenças de gênero e condições neuropsicológicas podem afetar o desempenho, [16] [17], sendo o LCT uma ferramenta útil para avaliar essas variações.
- Por fim, os estudos, sobre efeitos de aprendizagem, [23] e [24], reforçaram a importância do treino na estabilização do desempenho, mostrando que a prática pode levar à retenção de habilidades e ao aperfeiçoamento em tarefas similares, desde que os participantes tenham treinamento adequado.

Embora diversos estudos utilizem simuladores de condução com diferentes níveis de imersão, as plataformas de software subjacentes são raramente discutidas, o que resulta em lacunas na descrição técnica da arquitetura de software utilizada, dificultando a comparação direta entre estudos e a replicação dos resultados.

Adicionalmente, os estudos analisados não clarificam se os simuladores utilizados são proprietários, de código aberto ou desenvolvidos especificamente para cada investigação, nem se permitem a adaptação a novos cenários experimentais ou dispositivos de interação. Esta falta de informação técnica levanta desafios não só à reprodutibilidade científica, mas também à evolução e padronização das ferramentas utilizadas para a implementação do Lane Change Test (LCT), uma vez que

o foco permanece maioritariamente no protocolo experimental e nas métricas de desempenho, em detrimento da infraestrutura tecnológica que o suporta.

Consequentemente, observa-se uma separação clara entre a padronização do método experimental, definida pelo padrão ISO 26022, e a ausência de uma abordagem sistemática à implementação técnica do teste. Esta lacuna evidencia a necessidade de soluções que liguem o cumprimento rigoroso do padrão a uma arquitetura de software modular, reutilizável e portátil, permitindo uma maior transparência, replicabilidade e adoção por parte da comunidade científica.

Neste contexto, motores de jogo como o Unity apresentam-se como uma alternativa relevante para a implementação de simuladores de condução orientados ao Lane Change Test. O Unity permite a construção de arquiteturas modulares, nas quais a lógica do teste, a gestão de eventos, a recolha de métricas e a camada de visualização podem ser claramente separadas, facilitando a reutilização, manutenção e extensão da ferramenta. Adicionalmente, a sua natureza multiplataforma possibilita a portabilidade da mesma aplicação para diferentes sistemas operativos e configurações de hardware, reduzindo a dependência de soluções proprietárias ou específicas de um único laboratório. O Unity já foi utilizado como ferramenta de simulação em diferentes cenários, um deles foi num estudo em que utilizam esta para criar uma simulação de um ambiente aquático para treinar os pilotos de ROV a utilizar e aprender as capacidades necessárias para condução de ROV [26], outro foi na criação de um ambiente que permite simular uma evacuação de um edifício permitindo ver as zonas de maior impedimento [27].

Ao contrário de muitos simuladores utilizados na literatura, cuja implementação técnica não é descrita, o uso do Unity permite documentar explicitamente a arquitetura do sistema e promover maior transparência. Desta forma, torna-se possível alinhar a padronização metodológica do LCT, definida pela ISO 26022, com uma abordagem tecnológica flexível e extensível, capaz de suportar diferentes níveis de imersão, dispositivos de interação e cenários experimentais, sem comprometer a comparabilidade dos resultados.

3 Ferramentas utilizadas

Nesta secção serão apresentadas e descritas as ferramentas utilizadas para a continuação do desenvolvimento do projeto sendo que abaixo encontra-se a lista destas ferramentas:

- Unity: Um motor de jogo que permite o desenvolvimento de jogos em diferentes plataformas
- Visual Studio Code: Editor de código que permite o desenvolvimento em C# e permite o uso de extensões para auxílio
- Assets da Unity Asset Store e sketchfab: mercado online de modelos 3D, sprites e outros assets

Cada uma destas ferramentas foi usada no projeto sendo importante para facilitar o desenvolvimento deste. Será apresentada cada uma delas para o melhor entendimento das características e as razões que levam a utilização de cada uma.

3.1 Unity

O Unity foi a ferramenta central no desenvolvimento deste projeto, tendo sido utilizado desde a fase inicial até à fase final, antes da execução dos testes. A sua adoção deveu-se ao facto de o projeto base, desenvolvido no âmbito da licenciatura, já ter sido construído neste motor, o que permitiu dar continuidade ao trabalho existente sem necessidade de migração para outra plataforma. Além disso, a sua escolha justifica-se pela adequação ao tipo de aplicação desenvolvida — um simulador de condução para avaliação do tempo de reação humano — sendo amplamente utilizado no desenvolvimento de simuladores e aplicações interativas semelhantes, e por permitir exportar a aplicação para múltiplas plataformas com um processo de instalação simples.

No desenvolvimento, o Unity foi utilizado em várias fases distintas: na construção do ambiente de condução, nomeadamente a criação da pista com três faixas e os elementos visuais do cenário; na configuração da física do veículo, incluindo a dinâmica de condução e a integração do volante como dispositivo de input; na implementação da lógica do simulador, através de scripts em C#, responsável por controlar os estímulos apresentados ao condutor e recolher os dados de resposta; e na organização das cenas que compõem os diferentes estados da aplicação, como menus e sessões de teste.

Isto responde diretamente aos três pontos da crítica — liga o Unity ao LCT especificamente, detalha o quando por fases concretas, e conecta o para quê aos requisitos reais do simulador.

No desenvolvimento, o Unity foi utilizado para gerir e expandir os componentes principais do simulador de condução, nomeadamente a criação e configuração de cenas, a integração de modelos 3D do ambiente de condução, e a implementação da lógica de simulação através de scripts em C#.

Este possibilita a criação de aplicações, jogos, e animações. Inclui uma biblioteca em C# que permite a criação de código e possibilita a interação com os objetos de jogo, usando uma vasta gama de funcionalidades que vêm com esta biblioteca.

O Unity permite o uso de modelos com diferentes formatos, podendo estes serem:

- **.fbx** [28]: Formato mais comum, suporta modelos, animações e materiais;
- **.dae** [29]: É amplamente compatível, podendo conter cenas e modelos nestes;
- **.dxf** [30]: Utilizado em certas áreas, mas por ser um arquivo vetorial este não perde qualidade;
- **.obj** [28]: São utilizados para armazenar dados de geometria 3D, sendo possível aceder a um arquivo OBJ em qualquer editor de texto e ver uma lista estruturada de todos os atributos existentes;

Para a criação de um objeto o Unity utiliza o modelo Entidade-Componente [31]. Neste, cada objeto apresentado na cena é representado por um *GameObject* não possuindo qualquer comportamento. Os componentes podem consistir de componentes de renderização, colisão, física ou código em C#. O comportamento do objeto no ambiente é definido pela junção destes componentes. Desta forma, um *GameObject* pode ter diferentes funções e comportamentos consoante os componentes que este possuir, tornando o desenvolvimento modular e flexível.

O Unity também permite criar e gerir cenas [32]. Estas são o bloco de construção que possibilita trabalhar com o conteúdo no Unity. As cenas permitem organizar o projeto, e cada uma pode ser um menu, um nível ou um estado da aplicação. É dentro das cenas que pode ser adicionado e modificado cada *Gameobject* existente, como é demonstrado na Figura 8. É possível existir partilha de dados entre as cenas possibilitando a modificação dos ambientes à medida que há progressão.

A física toda do Unity é controlada pelo motor Nvidia PhysX [33] por padrão. Esta coordena uma grande variedade de eventos, entre estes colisores permitindo definir zonas de colisão, demons-

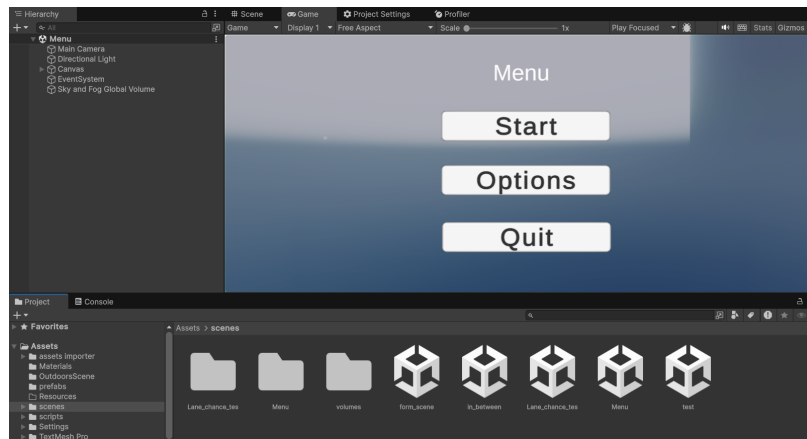


Figura 10. Cenas do projeto

trado na Figura 9, aplicar comportamentos baseados em física num GameObject e permite analisar a performance da física na aplicação.

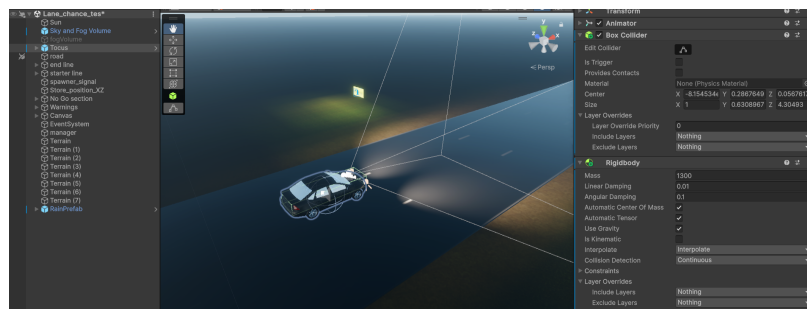


Figura 11. Física num objeto

Existem três pipelines de renderização no Unity, sendo elas a Built-in render pipeline, a Universal Render Pipeline (URP) e a High Definition Render Pipeline (HDRP). Existindo vantagens e desvantagens na utilização de cada uma. Por exemplo a Built-in render pipeline [34] permite que haja compatibilidade com qualquer plataforma utilizada, mas esta não está tão otimizada como as outras podendo ter um desempenho inferior. A Universal Render Pipeline (URP) está mais otimizada e oferece gráficos superiores à anterior mas não suporta todas as plataformas. Por fim, a High Definition Render Pipeline (HDRP) [35] que é a que foi utilizada neste projeto oferece uma maior qualidade gráfica em relação às outras duas, e suporta efeitos volumétricos mas perde também em compatibilidade com plataformas móveis.

3.2 Visual Studio Code

O Visual Studio Code foi utilizado durante todo o desenvolvimento deste projeto, desde a fase inicial até à fase final, para o desenvolvimento de todos os scripts na linguagem C#. As extensões do Unity, C# e C# Dev Kit permitem programar na linguagem necessária e aceder às bibliotecas fornecidas pelo Unity, facilitando a compreensão e estruturação do código.

A razão para a escolha desta ferramenta deve-se ao facto da sua fácil utilização como resultado da experiência prévia com a ferramenta. Além disso, esta trata-se de uma ferramenta leve tanto em termos do espaço de instalação como no consumo de recursos, necessitando de cerca de 1 GB de RAM e um processador com 1.6 GHz de frequência ou superior [36]. Assim, permitindo executar o Unity e o editor em simultâneo sem degradação de desempenho.

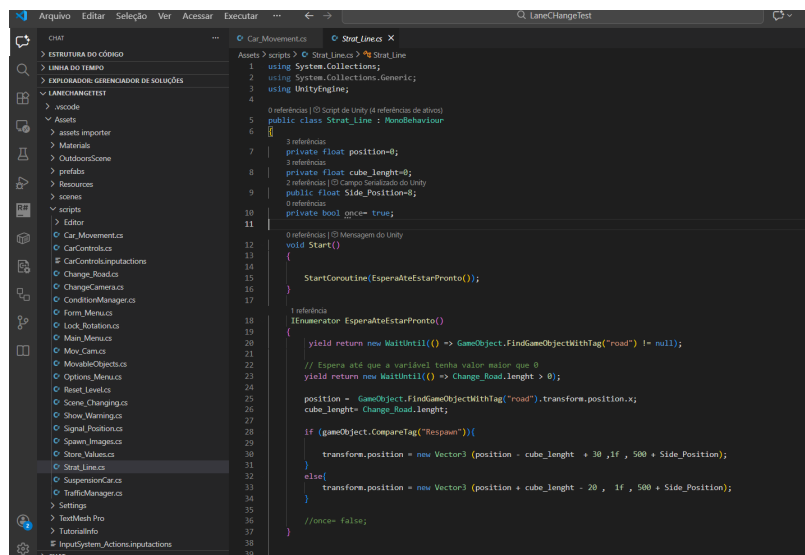


Figura 12. Editor de Visual Studio Code

O Visual Studio Code apresenta suporte para múltiplas linguagens de programação, uma interface de edição intuitiva, com capacidades integradas para facilitar a escrita, execução e depuração do código, como pode ser visualizado na Figura 10. A sua arquitetura combina tecnologias web, nativas e específicas de cada linguagem utilizando o Electron [37]. Inclui ainda um modelo de extensibilidade público que permite aos utilizadores criar e utilizar extensões e personalizar amplamente a sua experiência de edição, compilação e depuração.

No contexto específico deste projeto, a extensão do Unity funciona em conjunto com as extensões C# e C# Dev kits, ilustrado na Figura 13 fornecendo algumas capacidades como analisadores

e refactorings específicos para C#, realce da sintaxe para ficheiros utilizados pelo Unity (como .asmdef, .shader, .uss e .uxml) e suporte na depuração através de comandos apropriados para tal. Todas estas funcionalidades contribuem para melhorar a fluidez do processo de desenvolvimento associado aos comportamentos dos objetos do Unity.

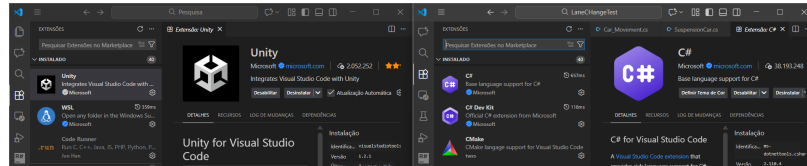


Figura 13. Extensões utilizadas no Visual Studio Code

Este editor de código foi interligado com o Unity alterando nas preferências deste, a ferramenta para editar o código sendo selecionado o Visual Studio Code, demonstrado na Figura 12. Aqui, permite que abra diretamente o Visual Studio Code sem ter de procurar pelos ficheiros para abrir o código criado.

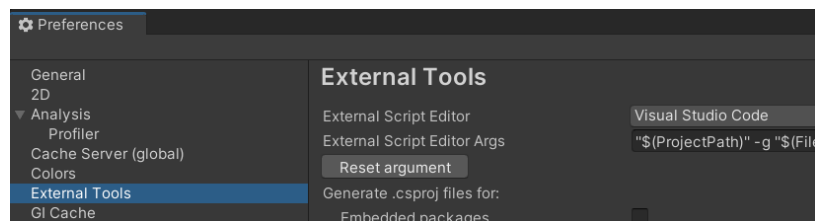


Figura 14. Utilização do Visual Studio Code em conjunto com Unity

3.3 Assets da Unity Asset Store e Sketchfab

Ambas as ferramentas referidas nesta secção são plataformas online que permitem pesquisar, explorar e utilizar uma vasta gama de recursos digitais. Uma permite pesquisar modelos 3D, texturas, áudios, animações, scripts e outras extensões que podem ser incorporados no projeto, a outra permite pesquisar só por modelos 3D, assim facilitando e agilizando o desenvolvimento do projeto. A utilização destas plataformas deveu-se ao facto de permitirem um desenvolvimento mais acelerado do projeto, eliminando a necessidade de aprender a modelar objetos manualmente e possibilitando, ao mesmo tempo, o acesso a modelos de maior qualidade e complexidade do que os que seriam produzidos de raiz.

O Unity Asset Store e Sketchfab foram utilizados conforme necessário durante o desenvolvimento, para obter modelos 3D de veículos e texturas de cenário. Estes recursos permitiram criar um ambiente visualmente realista e variável, com diferentes condições climáticas através de skyboxes alteráveis, contribuindo para a validação ecológica da simulação LCT e melhorando a experiência imersiva do participante durante o teste.

A forma como estas plataformas se integram com o Unity variou entre si. O Unity Asset Store, ilustrado na Figura 16 encontra-se diretamente integrado no motor de jogo através do package Manager, onde é possível localizar os recursos pretendidos e descarregá-los diretamente para o ambiente do projeto de forma simples. O Sketchfab, apresentado na Figura 15 apesar de não possuir uma direção direta para o Unity, também permite pesquisar e descobrir modelos 3D adequados ao projeto. Após encontrar o modelo desejado este é descarregado manualmente e posteriormente importado para o Unity, exigindo alguns passos adicionais de configurações.

Os principais recursos obtidos através destas plataformas variaram consoante a sua origem. No Unity Asset Store foram importados essencialmente recursos como texturas para o terreno, modelos do céu para substituir o predefinido pelo motor de jogo, uma sprite para efeitos de neve e um sistema de partículas para simulação de chuva. Já no Sketchfab foram encontrados e descarregados modelos de veículos, nomeadamente o modelo de um camião e de um autocarro, uma vez que no Unity Asset Store os modelos equivalentes ou eram pagos ou não eram adequados para o projeto.

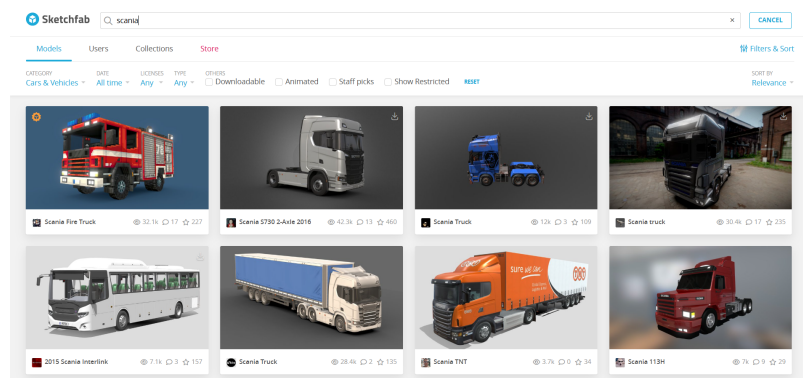


Figura 15. WebSite do Scketchfab

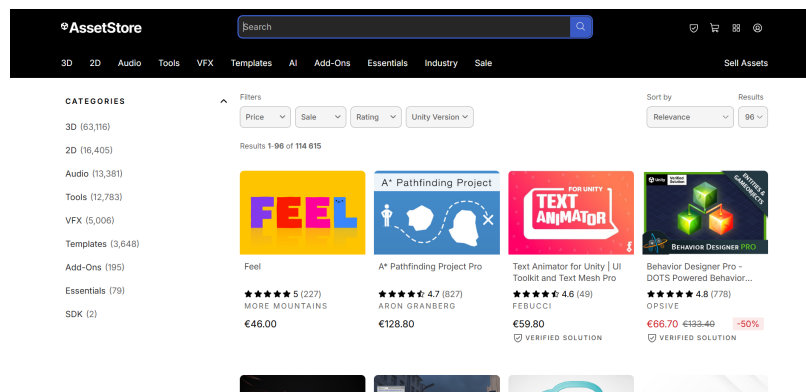


Figura 16. WebSite do Unity Asset Store

4 Implementação da Solução

Nesta secção é apresentado o processo de implementação da solução, com o foco no trabalho realizado no âmbito da tese.

O objetivo desta implementação é proporcionar uma solução para tornar o LCT numa ferramenta que possa ser empregue mais facilmente, otimizar a sua portabilidade e simplificar a recolha de dados de quem a utiliza. Este projeto teve origem num trabalho prévio do qual este é a continuação, tendo esse trabalho fornecido a base de desenvolvimento aqui apresentada.

Esta secção está organizada da seguinte forma: começando com uma visão geral do projeto, uma breve explicação da origem deste projeto, uma demonstração dos componentes existentes do trabalho prévio, e por fim o trabalho que foi realizado durante a tese. Assim, fornecendo o enquadramento necessário para o entendimento do que foi realizado.

4.1 Arquitetura do projeto

O simulador foi desenvolvido seguindo uma arquitetura em camadas como representado na Figura 17, permitindo uma organização modular e clara da lógica de funcionamento. Esta estrutura separa responsabilidades em diferentes níveis, desde a interação com o utilizador até à renderização visual.

Descrição das Camadas:

- Presentation layer
 - FormMenu - Recolhe ID e número de repetições
 - OptionMenu - Configura parâmetros (comprimento estrada, distância sinais, velocidade, clima, tráfego)
 - ShowWarning- Aviso para voltar à estrada
- Manager layer
 - TrafficManager - Gere tráfego na estrada
 - ConditionManager - Gere condições climáticas

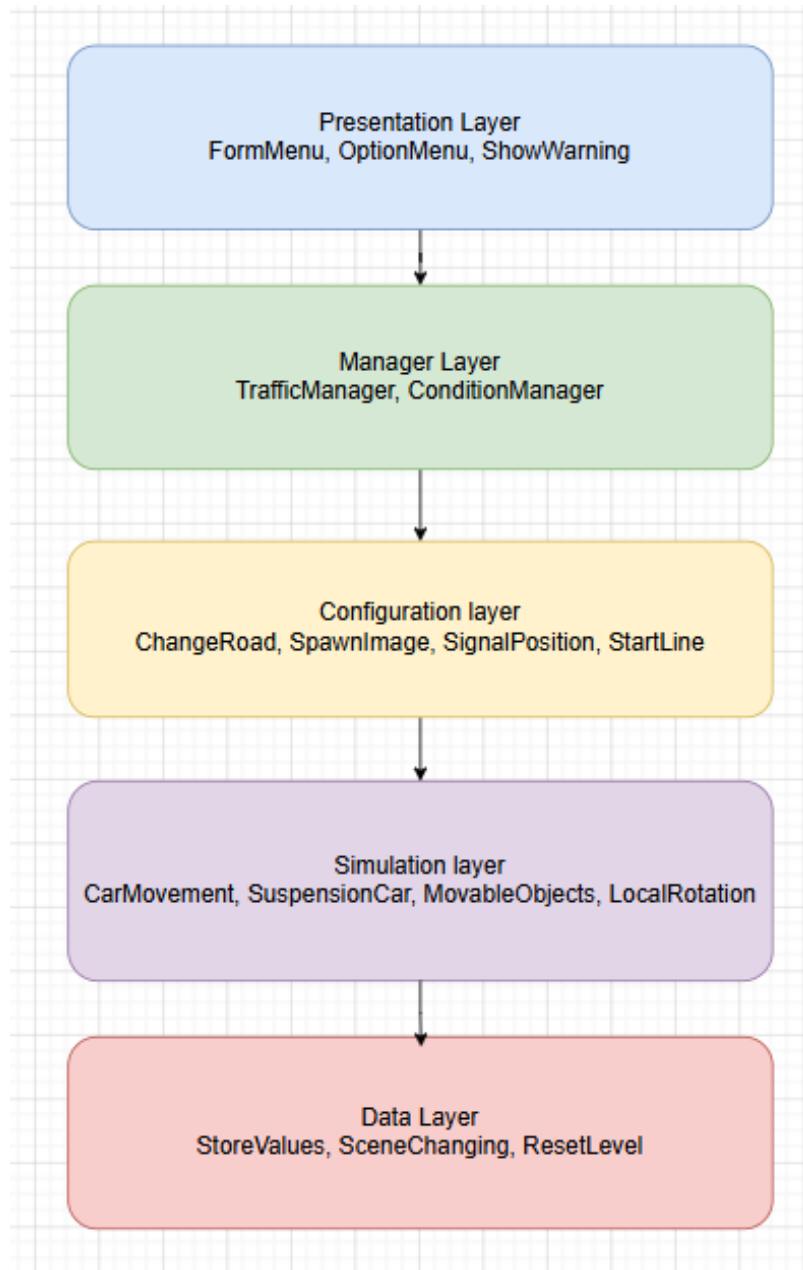


Figura 17. Separação do projeto em camadas

- Configuration layer
 - ChangeRoad - Altera comprimento da estrada
 - SpawnImage - posiciona os indicadores de mudança de faixa
 - SignalPosition- Define posição dos sinais
 - StartLine - Coloca sinais de start/finish nas devidas posições
- Simulation layer
 - CarMovement - Movimento do carro + input do volante
 - SuspensionCar - Física da suspensão
 - MovableObjects - movimenta os veiculos do gerado
 - LocalRotation - Controla perspectiva de câmara
- Data layer
 - StoreValues - Armazena/recolhe dados durante teste (a 33,33Hz)
 - SceneChanging - Exporta dados para Excel + transição de cena
 - ResetLevel - Reinicia nível e prepara a próxima cena

O simulador funciona através de uma sequência de cenas que guiam o utilizador desde a configuração até aos resultados:

Na Cena 1 (Menu Inicial/Opções), o utilizador pode configura todos os parâmetros do teste: velocidade do veículo, distância entre sinais, comprimento do circuito e condições climáticas. Na Cena 2 (Formulário), o participante preenche dados pessoais (ID e número de repetições) necessários para registar os dados do teste. Na Cena 3 (Simulação), executa-se o teste propriamente dito. O loop de simulação funciona da seguinte forma:

- CarMovement recebe comandos do volante
- CarMovement e SuspensionCar aplicam física e dinâmica do veículo
- StoreValues recolhe dados a 33.33 Hz

- Câmaras renderizam a cena visual

Na Cena 4 (Transição/Resultados), os dados são processados, exportados para Excel e apresentam-se ao utilizador a opção de repetir o teste ou retornar ao menu.

4.2 Evolução do projeto

Este projeto, é a continuação de um projeto de licenciatura realizado no ano 2023, onde foi desenvolvida e aperfeiçoada a primeira versão funcional do LCT implementado no Unity. Este projeto segue alguns dos princípios e boas práticas que foram retiradas do predecessor do programa mas devido a ausência da documentação formal este foi desenvolvido num contexto exploratório. Isto implicou que houvesse uma exploração nas versões anteriores do LCT e que existisse uma definição de requisitos. Assim, algumas das decisões foram implementadas de forma iterativa, privilegiando a funcionalidade e robustez aos objetivos presentes.

Na primeira versão do LCT como foi referido, o sistema foi criado disponibilizando as seguintes funcionalidades: condução do veículo sem física, recolha de dados, aceitação de input de um teclado mas, sem funcionamento para outros modos de input, fornecimento da capacidade de exportação dos dados para a folha Excel e criação de circuitos de forma aleatória com base na posição do carro.

As principais limitações identificadas nestes sistemas foram a falta de portabilidade entre dispositivos, podendo gerar problemas de compatibilidade. Adicionalmente, o processo de instalação e configuração inicial revelou-se pouco acessível, e a recolha de dados era realizada com recurso a ficheiros .txt, tornando o processo manual e suscetível a erros. Por fim, não existia qualquer menu que permitisse ajustar as configurações do simulador, como a distância entre sinais ou o alcance de visualização dos mesmos. Tais limitações justificaram o avanço para uma nova fase de desenvolvimento, resultando no trabalho desta tese. Nas secções seguintes será explicado mais pormenorizadamente o desenvolvimento do projeto.

4.3 Componentes anteriormente existentes

Nesta subsecção serão descritos os componentes que existiam na versão inicial do sistema. Indicando a sua estrutura, cenas, modelos e scripts existentes responsáveis pelo funcionamento. Esta descrição facilita a compreensão das alterações e melhorias que foram introduzidas posteriormente.

4.3.1 Organização do projeto

O projeto encontrava-se organizado de forma simples como está apresentado na Figura 18, houve uma separação dos objetos que foram criados e importados. As principais separações eram uma pasta para cada importação, uma pasta para as cenas, outra pasta para o código e outra pasta para materiais, imagens e templates (templates de modelos que foram criados)

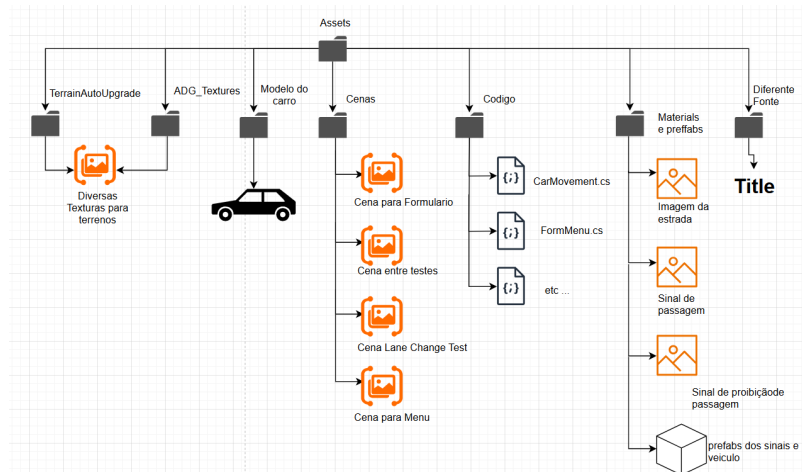


Figura 18. Organização dos ficheiros no Unity

4.3.2 Cenas existentes

O projeto é composto por quatro cenas principais. A `form_scene` apresenta um formulário inicial onde se inserem o identificador do participante e o número de voltas, validando os dados introduzidos. A cena `in_between` serve de transição entre voltas, permitindo exportar dados para Excel e verificar se o teste foi concluído. O Menu é a cena principal de navegação, onde se configuram parâmetros como o tamanho da pista, distância entre sinais e velocidade do veículo. Por fim, a `Lane_change_test` é a cena central do teste de condução, contendo toda a física, lógica do veículo e recolha de dados.

4.3.3 Código existente

- **Car_Movement:** Este script é o que controla o veículo, utilizando só o teclado
- **Lock_Rotation:** Este script bloqueia o movimento do carro no eixo do Y evitando o capotamento do veículo.

- **Form_Menu**: Este script é que recebe as informações como número de voltas e o ID do participante para serem utilizados posteriormente.
- **Main_Menu**: Este é o que redireciona o participante para o teste ou o menu de opções, e também permite alterar algumas configurações no teste
- **Reset_Level**: Trata de parar o carro e a recolha de dados quando chega ao fim do teste.
- **Store_Values**: Guarda os valores que são recolhidos durante o teste sendo estes recolhidos a intervalos constantes.
- **Scene_Changing**: Exporta os dados recebidos pelo Store_Values para uma folha Excel e envia o participante para a próxima cena consoante o número de voltas.
- **Show_Warning**: Avisa visualmente quando o participante está fora do caminho.
- **Finish_Line** e **Start_Line**: Ambos os scripts partilham a mesma função que é tratar do posicionamento dos sinais de Start e de End do teste.
- **Tranform**: Este script trata de alterar o tamanho do circuito com base no valor que foi colocado no menu de opção inicial sendo este valor por defeito 3 quilómetros.
- **Signal_Position**: Trata de calcular o número de sinais e posicioná-los ao longo da pista com um espaçamento regular.
- **Spawn_Images**: Este script trata de indicar a faixa a que o participante deve se dirigir colocando as imagens quando o veículo aproxima-se dos sinais. Tenta gerar estes aleatoriamente com base na posição do veículo

4.3.4 Modelos existentes

Modelos utilizados - Os principais modelos usados foram os preexistentes no Unity e o modelo que foi importado. Foram usados terrenos para criar o chão e permitir o movimento do carro e foi usado um cubo para a estrada. para a criação dos sinais foi utilizado planos que são fornecidos pelo Unity.

4.3.5 Fluxo de um Teste

Fluxo de um teste normal consiste no participante configurar a pista no menu inicial, introduzir o seu ID e o número de voltas. Quando entrar no teste, este tem de conduzir seguindo os sinais e repetir até concluir o teste.

Apesar do sistema permitir realizar testes básicos, este apresentava diversas limitações: erros na exportação de dados para o Excel, física do veículo simples, objetos no teste não estavam na mesma escala gerando inconsistências, a condução do sistema só funcionava com o teclado, e a recolha de dados era realizada a 2.5Hz não sendo o suficiente devido a ser necessário uma maior frequência para os cálculos a serem realizados e por fim podia existir a reescrita de um nome já existente.

Com a descrição do sistema já existente, será mais fácil entender o que foi alterado e porquê, fornecendo o contexto necessário para as próximas partes.

4.4 Contributos implementados no âmbito da tese

Nesta secção serão descritos quais foram os contributos feitos para este projeto. Estas adições passaram por criar novos scripts, adicionar novos modelos, melhorar scripts existentes, otimizar o jogo, adição de sistemas de partículas, novos sky-boxes, foi criada uma cena nova para testar a condução, por fim foi também criado um sistema de input. Alguns destes contributos eram requisitos que tinham de ser cumpridos devido a serem fornecidos pelo padrão.

Estes contributos foram principalmente:

4.4.1 Adição de novos modelos e alteração dos existentes

Os principais modelos adicionados ou alterados no projeto foram:

- Autocarro: modelo adicionado para aumentar a variedade de veículos presentes;
- Camião: adicionado com o mesmo objetivo que o autocarro;
- Mudança da cor do veículo, já existente;

4.4.2 Código adicionado

Durante o desenvolvimento da ferramenta foi necessário criar novos Scripts para expandir ou melhorar as funcionalidades existentes, as adições realizadas neste projeto foram as seguintes:

- Car controller: um script criado devido ao uso do sistema de input novo, sendo gerado ao criar ou atualizar o ActionMap;
- ChangeCamera: um script criado que permite mudar a perspectiva pela qual se vê o veículo;
- ConditionManager: criado para gerir as condições climáticas e o ciclo circadiano;
- MovableObjects: concebido para conseguir fazer com que os veículos que são adicionados possam se mexer e realizar mudanças de faixa;
- SuspensionCar: originado para separar algumas das funções e funciona como suspensão do veículo permitindo assim que o carro tenha física mais complexa;
- Traffic Manager: cria uma quantidade de veículos aleatórios que vão estar na estrada junto com o participante caso esta opção esteja selecionada;
- Num script do raiMaker foi modificado o conteúdo para que pudesse ser ativado ou desativado quando selecionado.

Nos scripts que já existiam, alguns destes foram melhorados sendo eles os seguintes:

- ChangeRoad: um script que foi ligeiramente alterado. Este continua com o mesmo objetivo do anterior que é modificar o tamanho da estrada conforme solicitado;
- CarMovement: foi modificado para aceitar o novo sistema de input, permitindo utilizar volante e pedais ou teclado. Foi também melhorado o sistema responsável pela condução do veículo, bem como a recolha de dados como o input do volante, a orientação angular do veículo e a sua posição atual;
- StartLine: foi remodelado sendo a junção de dois scripts anteriormente criados que realizavam a mesma tarefa;
- FormMenus: foi modificado a forma como os dados são enviados de uma cena para a outra e foi adicionada alguma lógica adicional evitando a perda de dados pela reescrita de testes já existentes;

- OptionMenu: foi modificada a forma em que os dados são enviados para outras cenas e foi adicionada mais algumas opções que permitem alterar o clima e o ciclo circadiano do dia ou até adicionar trânsito;
- ResetLevel: foi alterado de forma a que resolvesse um erro;
- SceneChanging: foi alterado de forma a conseguir recolher os dados extras que são enviados para este. O mesmo foi melhorado pois este tinha erros.
- ShowWarning: foi alterado para melhorar o desempenho;
- Script SignalPosition: foi alterado de forma a melhor o desempenho realizando o este uma única vez e foi alterado de forma de separação dos sinais utilizando uma separação exponencial para que correspondesse ao padrão;
- Spawn images: O sistema foi atualizado para armazenar as opções do utilizador através do PlayerPrefs, permitindo que as configurações sejam mantidas entre sessões. A geração dos sinais foi também modificada, passando a comparar com o sinal anterior em vez da posição atual do veículo, tornando o comportamento mais consistente. Por fim, a estrutura do código foi reorganizada de forma a facilitar a sua leitura;
- Store values: foram adicionadas listas de valores que permitiam recolher os dados necessários como o input do volante, a velocidade de rotação e o ângulo de orientação ;

4.4.3 Sistema de Partículas

Foi necessário adicionar sistemas de partículas para simular os efeitos necessários sendo que tais foram adicionados estando listado abaixo:

- RainMaker: Um modelo que permite adicionar chuva e partículas de água;
- Partículas de neve: permite fazer com que caia neve nos testes;

4.4.4 Otimizações de desempenho

Durante a criação deste projeto houve algumas otimizações a serem feitas para que o projeto funcionasse como pretendido. Antes da aplicação das otimizações, o Unity registava 30 frames por segundo, valor que aumentou para 90 frames por segundo após a sua implementação. Para otimizar

o projeto foi utilizado o `profiles` que é uma ferramenta do unity. As otimizações passaram por modificar scripts, desativar câmaras, alterar configurações gráficas e desativar partes dos modelos que não são visíveis.

4.4.5 Adição de novas Sky-boxes

Foram adicionados 3 sky-boxes para simular diferentes períodos do dia e condições climáticas. Foi adicionado uma sky-boxe para simular o período diurno, noturno e de mau tempo existindo alguma variedade nos testes.

4.4.6 Alteração do sistema de input

O sistema de input foi alterado para que utilizasse o novo sistema de input em vez do antigo permitindo assim facilitar o processo de adição de novos inputs

4.4.7 Criação da cena de testes

Por fim foi criada uma cena nova que permite a realização de teste de acordo com o padrão [2].

4.5 Assets gráficos

Nesta subsecção serão apresentados os modelos 3D adicionados neste projeto. Aqui será brevemente explicado porque cada modelo foi colocado. Alguns destes modelos foram alterados de forma a que pudessem ser utilizados.

1. Como já foi anteriormente mencionado, foi adicionado um modelo de autocarro chamado de `Natacomy Bus` este foi retirado do site `sketchfab` [38] como pode ser visualizado na Figura 19. Como este é um veículo de maior porte permite avaliar o comportamento do participante nestes casos. Este é um modelo simples em que todo o veículo é só uma peça sendo constituído por uma única malha assim reduzindo o custo na renderização. Este contém um collider e RigidBody assim podendo interagir com o participante, 4 wheelcolliders e 4 luzes que são os faróis. Este também tem um componente que contém o script `MovableObjects` permitindo que este tenha movimento.
2. Foi adicionado um modelo de camião sem atrelado com o nome `Scania S730 2-Axle 2016` sendo o modelo retirado do `sketchfab` [39] este está apresentado na Figura 20. O camião representa outro veículo de grande porte que permite avaliar o participante quando se encontra nestas

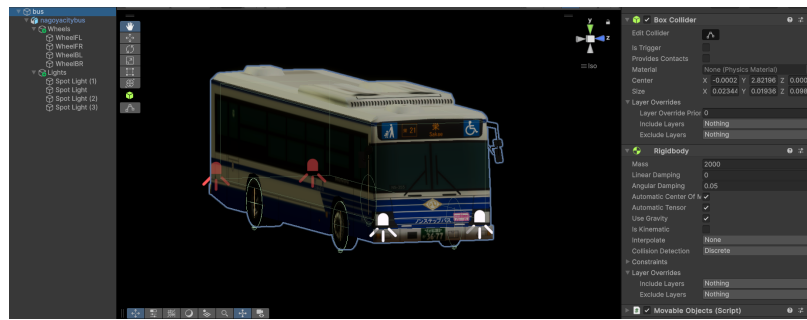


Figura 19. Autocarro Natacomy Bus

situações. Este serve o propósito de fornecer alguma variedade não tendo sempre os mesmos dois veículos a andar na pista. Contém os mesmos elementos que o autocarro, sendo este o script MovableObjects, o collider, o rigidbody, as luzes para faróis e os 6 wheelcolliders. Este modelo está dividido em componentes separados em vez de ser tudo um só.



Figura 20. Camião da Scania.

3. Este último é uma alteração da cor do veículo usado pelo participante sendo alterada a cor de laranja para azul, como está ilustrado na Figura 21 assim causando menos confusão ao participante para identificar o próprio veículo. Também serve de veículo que aparece na pista com maior frequência do que os dois anteriores como este é mais comum. Este também contém os mesmos elementos que já foram mencionados.

4.6 Sistema de input

O sistema de input é responsável por gerir a interação do utilizador com a simulação, permitindo configurar os dispositivos de entrada sem a necessidade de alterar o código. O Unity disponibiliza dois sistemas de input.

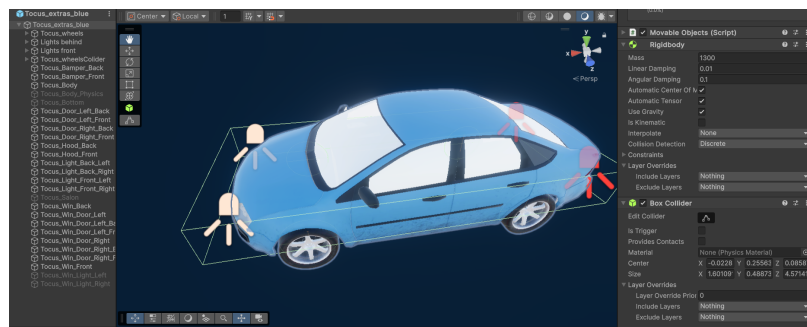


Figura 21. Veículo que serve como um carro comum

4.6.1 Sistema de input antigo (Input Manager)

O sistema de input antigo só permite definir eixos, teclas especificamente do teclado e botões de um comando. Este sistema é menos flexível [40], devido a necessário adicionar manualmente no código o input desejado para cada ação, tornando o processo repetitivo.

4.6.2 Sistema de input novo (Input System)

O Input System é mais flexível e foi este que foi adotado no projeto. Este foi alterado devido a permitir que o participante pudesse interagir com qualquer dispositivo de input neste caso sendo utilizado um volante em vez do teclado. A principal vantagem deste é a sua capacidade de suportar múltiplos dispositivos de entrada sem necessitar de alterações no código [41] em comparação com o anterior.

4.6.3 Instalação e configuração do novo sistema de input

A instalação do Input System é realizada através do Package Manager do Unity, acessível no menu Window → Package Manager, apresentado na Figura 22. Após selecionar Unity Registry no Package Manager e encontrar o Input System, procede-se à sua instalação como ilustrado na Figura 23. É necessário alterar o sistema de input ativo através das definições do projeto, como apresentado na Figura 24 uma vez que o Unity utiliza o sistema antigo, por defeito.

Após a instalação, é necessário criar um Input Action Asset ilustrado na Figura 25, onde contém todas as configurações de input. Este é criado dirigindo-se ao menu Edit → Input System Package, selecionando a opção Input Actions. No âmbito deste projeto, foi necessário ajustar o valor da deadZone, uma vez que o valor padrão era demasiado elevado, exigindo uma rotação do volante de aproximadamente 90 graus antes de existir qualquer movimento lateral notável no carro.

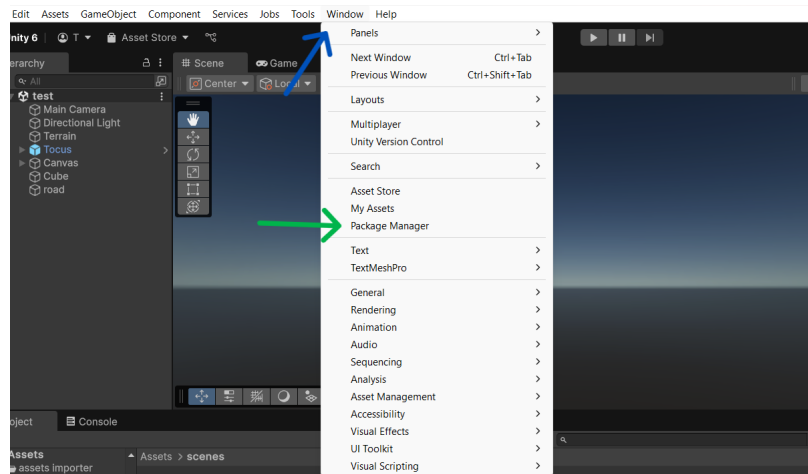


Figura 22. Passos iniciais da instalação do sistema de input

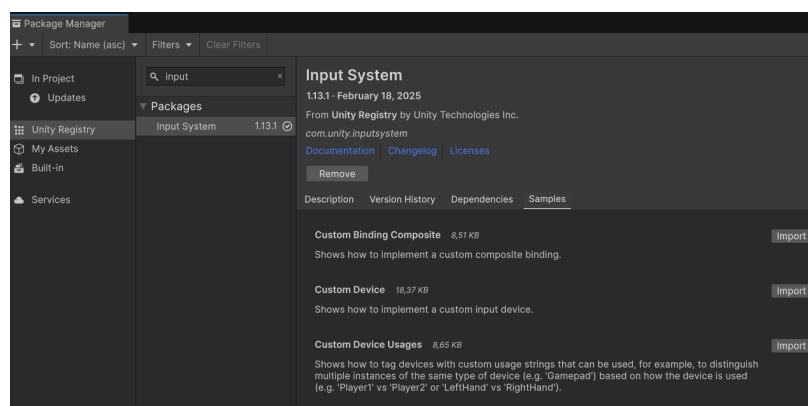


Figura 23. Passos finais da instalação do package manager

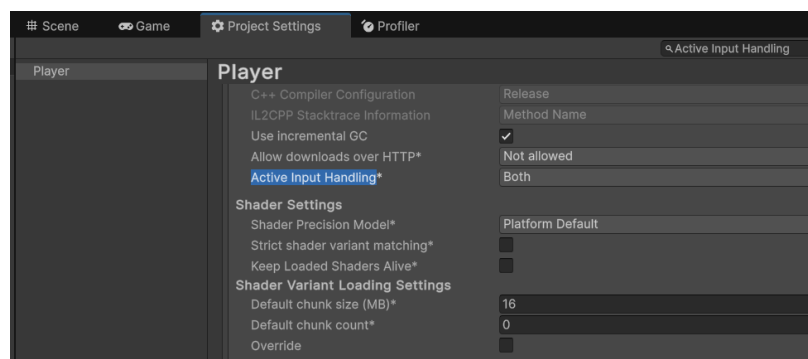


Figura 24. Selecionar para usar ambos os sistemas de input

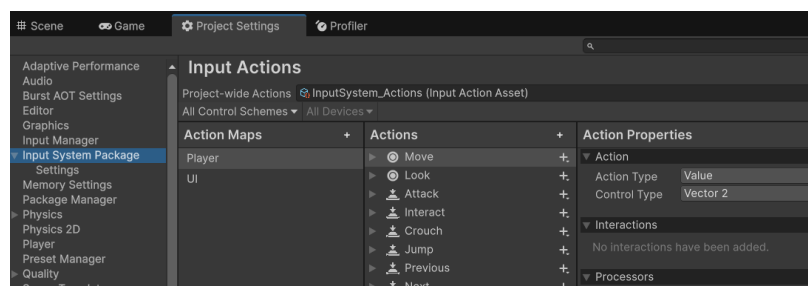


Figura 25. Criar as ações do veículo

O Input System pode organiza-se em quatro níveis hierárquicos: Action Maps, Actions, Bindings e Properties ilustrado na Figura 26. Um Action Map agrupa um conjunto de ações relacionadas com um determinado contexto, neste caso o controlo do veículo. Um Action apresenta todas as ações definidas pelo Action Map, como acelerar, travar ou guiar o veículo. O Binding estabelece a ligação entre cada ação e o dispositivo de entrada correspondente, permitindo que a mesma ação seja mapeada para diferentes dispositivos, em cada binding pode ser associada diferentes Properties que gerem o input e o seu comportamento.

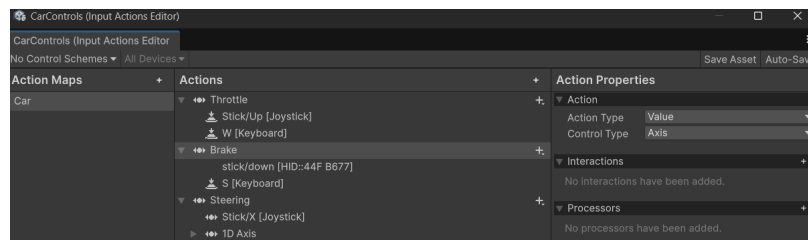


Figura 26. Controlos do veículo

As Actions podem ser configuradas para diferentes tipos, como botão ou valor contínuo, e com diferentes tipos de controlo, como um float ou um vetor. Os Properties permitem ainda definir interações específicas para cada ação.

Neste projeto foram definidas três ações principais: aceleração, travagem e direção lateral. Para cada uma destas foram configurados dois Bindings alternativos suportando dois modos de controlo:

- Volantes e pedais: destinado à condução normal durante os testes experimentais. O pedal de aceleração e o de travagem foram mapeados para as ações de aceleração e travagem, respetivamente enquanto o volante foi mapeado para o controlo lateral do veículo.
- Teclado: Destinado a facilitar os testes de desenvolvimento. As teclas W e S foram mapeadas para aceleração e travagem, respetivamente. As teclas A e D foram configuradas como um composto de dois botões em que a tecla A corresponde à direção esquerda e a tecla D à direção direita.

A integração deste sistema nos scripts do veículo foi realizada de forma a que o Input System seja ativado automaticamente quando o objeto é carregado em cena e desativado quando a cena é alterada. Durante a simulação os valores de cada input são lidos continuamente sendo as alterações detetadas utilizadas para controlar a direção, a aceleração e a travagem do veículo.

A utilização deste sistema em detrimento do sistema antigo do Unity justifica-se pela sua flexibilidade e simplicidade, permitindo adicionar dispositivos de entrada de forma simples sem haver impacto no código da simulação.

4.7 Mudanças das sky-boxes

No âmbito deste projeto, foram adicionadas três configurações de sky-boxes que correspondem a diferentes condições ambientais: período diurno ou noturno e diferentes condições climáticas, como é apresentado na Figura 27. Estes foram implementados utilizando o High Definition Render Pipeline. Este é um Scriptable Render Pipeline desenvolvido para as plataformas mais modernas compatíveis com compute shaders. Utiliza técnicas de iluminação com física, fornecendo as ferramentas necessárias para criar jogos, demonstrações e animações com um alto nível de gráficos. Nesta secção, o foco será no sistema de sky-boxes, pois o restante está fora do âmbito desta secção.

Ao contrário das versões anteriores do Unity onde era utilizado o UniversalRenderPipeline e sky-boxes tradicionais, o HDRP utiliza um sistema que permite desenvolver um sky-boxe com as suas próprias propriedades e shaders.

Para este projeto, cada uma das sky-boxes pode ser ativado ou desativado dinamicamente. O investigador seleciona o tipo de sky-boxe através de um menu de opções que lhe é fornecido no início do teste, podendo escolher entre sky-boxe diurno, noturno ou condições climáticas adversas (como chuva, neve ou nevoeiro). Após a seleção, o sistema atualiza o HDRI Sky correspondente à opção, garantindo que o ambiente visual e luminoso é consistente com o cenário escolhido para o teste.

4.8 Sistema de partículas e efeitos visuais

Nesta secção serão descritos os elementos visuais adicionados ao cenário que representam diferentes condições climáticas. Esta implementação recorreu à utilização de sistemas de partículas e volumes que são fornecidos pelo Unity, sendo complementados com alguns recursos externos. Neste caso, o sistema de partículas da chuva foi obtido através da Unity Asset Store.

4.8.1 Sistema de partículas

Uma partícula é uma imagem ou malhas que se movimentam e permitem simular entidades fluidas como líquidos ou nuvens, que são animados por grandes quantidades de partículas. Cada

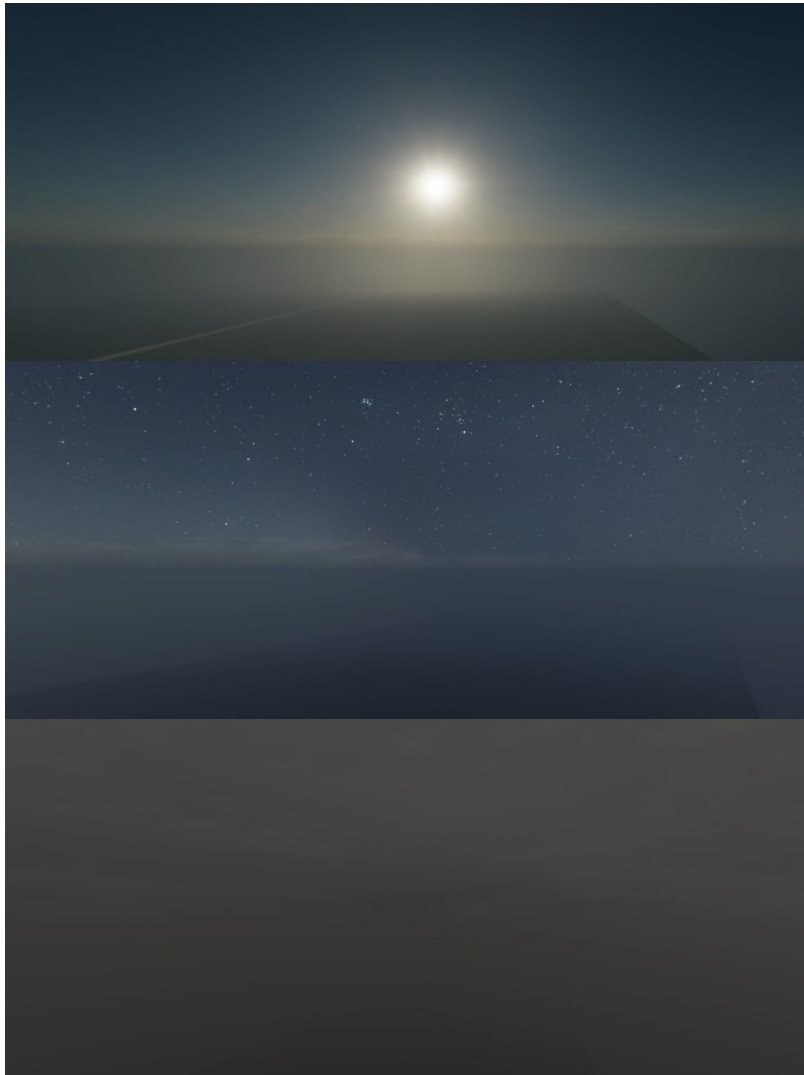


Figura 27. Sky-boxes utilizadas no projeto

partícula representa uma pequena porção de uma entidade e o efeito de todas juntas cria a impressão de uma entidade completa. Neste caso, o sistema de partículas foi usado para criar neve e chuva sendo a última encontrada no Unity Asset Store.

Neste projeto, foi usado o sistema de partículas pois este era a forma mais simples de criar os efeitos necessários e porque estes também permitem criar o elevado número de partículas ou elementos necessários para assemelhar aos cenários, em causa.

Como já foi referido anteriormente, o sistema de partículas da chuva, representado na Figura 28 foi adquirido na Unity Asset Store sendo posteriormente modificado no código que é fornecido para caber nas necessidades deste projeto. Estas modificações foram realizadas no código fornecido pelo próprio modelo. As principais alterações foram a adição de uma variável para verificar se foi selecionado a opção de chuva ou não e posteriormente ativar a chuva com base nessa variável. Para além do código, também foi retirado as partículas de explosão que acontecem quando chove com intensidade pois estas estavam a dar problemas com a renderização, apesar deste modelo ser compatível com todas as diferentes pipelines.

No sistema de partículas da neve, ilustrado na Figura 29, só os sprites foram adquiridos externamente sendo que o sistema de partículas foi configurado no Unity. Este foi criado usando o que é fornecido pelo Unity permitindo ter uma grande variedade de configurações. Assim, a neve foi configurada de forma otimizada tendo em conta que não poderia ser muito intensiva a nível gráfico ou poderia não cumprir os requisitos de desempenho para tal. Foi feito com que estas tivessem uma quantidade de partículas aceitável sempre a serem criadas e ao mesmo tempo estas desaparecessem quando não estivessem no campo de visão do participante. Abaixo encontra-se uma representação de como estas estão:

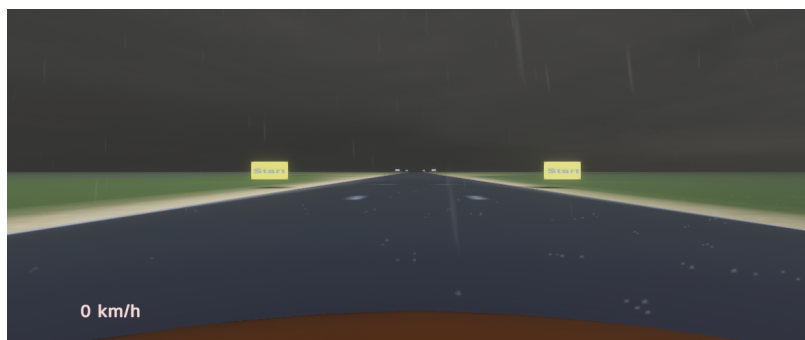


Figura 28. Chuva no LCT

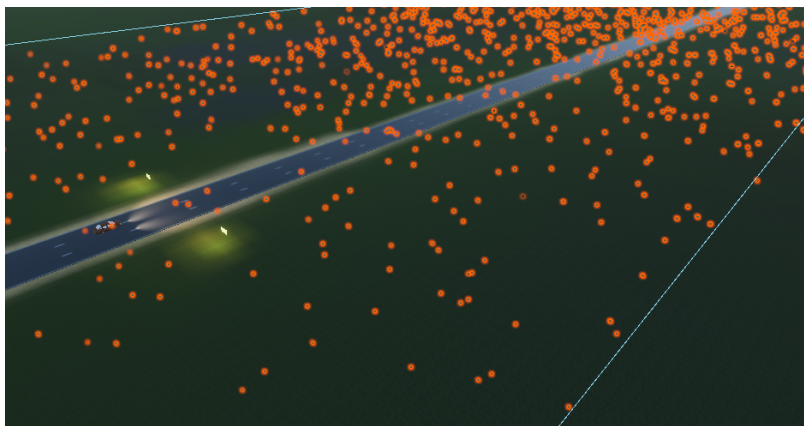


Figura 29. Neve no LCT

4.8.2 Volumes

No âmbito deste projeto também foram utilizados volumes para a representação do nevoeiro. Estes são uma região do espaço, local ou global que serão aplicados certos efeitos gráficos. Os efeitos podem sobrescrever ou estender as propriedades de uma cena, dada a posição da câmara. Neste caso, os volumes foram usados para recriar a sensação de que está nevoeiro e que a visibilidade está baixa na estrada. O objetivo disto é poder simular as condições de má visibilidade que o nevoeiro traz assim permitindo que os investigadores tenham a capacidade de testar diferentes cenários.

Este foi integrado no sistema, criando um volume global que foi depois adicionado a um novo volume profiler e selecionando como fog sendo override para pós processamento. Quanto as opções selecionadas estas foram escolhidas de forma a dificultar ao participante a ver os sinais mas estão apresentadas na Figura 30.

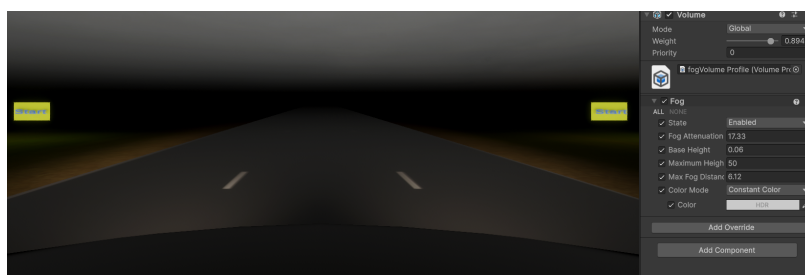


Figura 30. Configurações do nevoeiro

4.9 Cena de testes do veículo

Nesta subsecção será explicada a necessidade da criação da cena de testes do veículo. A criação desta foi fundamental para realizar os testes com mais rigor, permitindo verificar se a forma como o veículo foi configurado estava correta ou se seria necessário modificar alguma variável seguindo os requisitos indicados pelo padrão ISO [2]. A criação desta permitiu avaliar exclusivamente o comportamento do carro como o ângulo a que este vira com o volante a 90 graus e ajusta a zona morta do volante. Permitiu também realizar o teste que é indicado no padrão de colocar o veículo a fazer um círculo completo a andar a 60 Km/h com o volante a 90 graus sendo que deveria completar uma curva de 360 graus com o tempo compreendido entre 13 e 17 segundos indicando que teve um diâmetro de 70 a 90 metros.

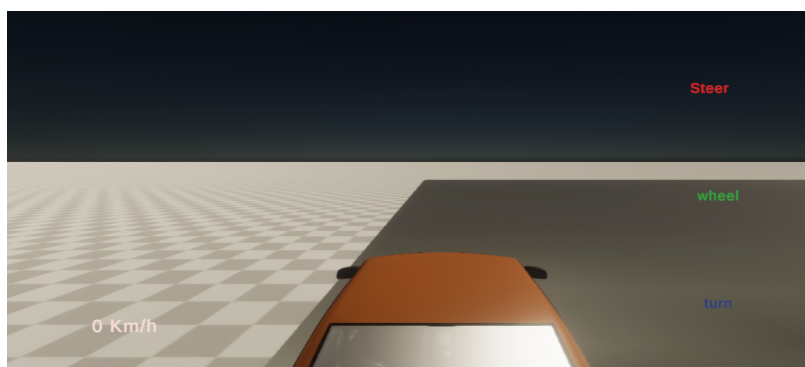


Figura 31. Cena de teste

A construção da cena representada na Figura 31 teve como objetos o mesmo veículo que é usado para a condução no teste com participantes, um terreno que o carro possa andar, um cubo de 90 unidades por 90 unidades (considerando que o Unity utiliza metros como unidade por defeito), um canvas para apresentar os valores do ângulo de direção. Com estes possibilitou averiguar se o veículo se mantinha dentro do tempo fornecido pelo padrão ao executar a curva. Esta cena contém uma superfície plana assim evitando a influência de físicas externas. Os principais dados recolhidos durante este teste eram a velocidade do veículo, o input fornecido pelo volante indicado o seu grau de direção e a mudança de direção de ambos os pneus. Estes assistiram na calibração das variáveis reartrack e maxWheelSteerAngle permitindo que realizasse o teste indicado. Na execução do teste o volante era colocado a 90º manualmente havendo uma margem de erro. No entanto, o veículo executava a curva em menos espaço do que o fornecido e com um tempo menor que 17 segundos.

4.10 Scripts e lógica de controlo

Nesta secção, serão explicados os scripts que foram alterados junto com os que foram criados permitindo demonstrar o que foi o principal foco desta tese.

4.10.1 CarControls

Este foi criado pelo input system já referido anteriormente, permitindo fazer uma lista de input dado para o código que necessita de usar.

4.10.2 ConditionManager

Este módulo gera as condições climáticas e horas do dia colocado no menu de opções. Os dados destas opções são guardados em variáveis. Neste caso as PlayerPrefs e são posteriormente passadas para a cena do teste em que este módulo encontra-se fazendo a leitura destas assim gerindo o clima e hora do dia. Ao usar esta forma de armazenamento, torna a passagem de variáveis mais lenta mas permite que os testes sejam realizados com menos problemas pois armazena permanentemente os valores até que estes sejam alterados no menu de opções. Esta solução pode não ser a mais eficiente mas é suficiente para este caso, pois não são lidas repetidamente durante um ciclo sendo só no início da cena.

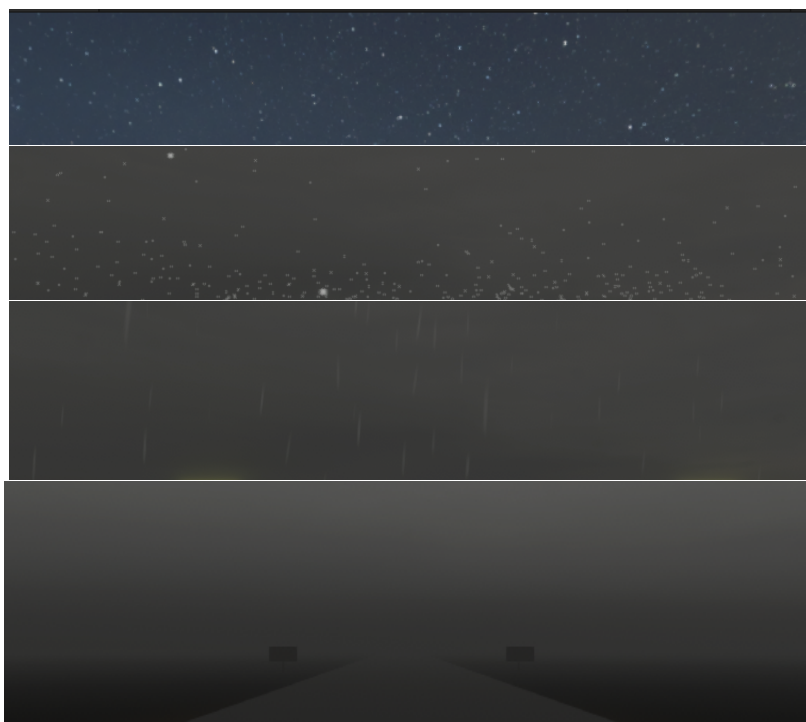


Figura 32. 1.Noite 2. Neve 3. Chuva 4.Nevoeiro

Estes valores armazenados é que gerem as condições climáticas, podendo ser neve como está apresentado na Figura 32.2 ou nevoeiro ilustrado na Figura 32.4, e para tal acontecer primeiro o script procura pelos objetos específicos na cena, como fogVolume e Snow particles, para que possam ser ativados ou desativados com exceção da chuva representada na Figura 32.3 pois esta é realizada num script a parte. Dependendo também do clima o sky box é alterada para se assemelhar a mau tempo. O sky box pode ser alterada sendo só chamado uma vez a função para que seja alterada para a opção selecionada podendo ser dia, noite ou mau tempo como ilustrado nas Figuras 32.1 e 32.2. Por fim, quando o sky box é alterado também é chamada outra função dentro desta para ligar, desligar ou alterar a intensidade das luzes de todos os veículos e do "sol", sendo primeiro procurado por todos os objetos do tipo "light" percorrendo um ciclo em todos os objetos na cena e posteriormente fazendo verificações em cada opção que tenha sido selecionada ativando estas caso esteja mau tempo, de noite ou desativando caso esteja sol. Todas estas alterações são realizadas uma única vez no início de cada cena para que seja rápido.

4.10.3 MovableObjects

Neste módulo, o objetivo foi automatizar o controlo de veículos que o participante não está a conduzir, simulando assim trânsito na estrada, como apresentado na Figura 33, para tal é garantido que estes sigam sempre uma das três faixas de rodagem existentes pois é usando um array com as posições destas. Com isto, permite fazer com que os veículos que simulam o trânsito possam mudar de faixa.



Figura 33. Simulação de trânsito na estrada

Para que os veículos se movimentem, todos os modelos de veículos tem wheelcolliders e rigidbodies, permitindo assim controlar a força aplicada em cada um, sendo que estes no início apresentam uma maior de força exercida para que em vez de estarem a acelerar, já estejam a

avançar à mesma velocidade que o participante. Cada tipo de veículo tem a sua própria tag podendo ser separado e aplicado forças diferentes a cada um deles. A lógica por detrás do movimento destes veículos é a seguinte: no início quando a cena é gerada, é aplicada uma grande força para colocar estes a andar ligeiramente mais devagar que o veículo do participante e posteriormente só é aplicado alguma força para manter esse movimento. Estes podem mudar de faixa utilizando um número aleatório para tal num intervalo de 7 segundos. Esta mudança é feita calculando qual a faixa que tem ir e juntando uma distância de 20 unidades entre esta e o veículo que vai mudar de faixa para que a mudança não seja brusca ou instantânea. Para tal, é traduzido o valor dessas posições para um espaço local e é calculado o ângulo que é necessário virar para aplicar este nos wheel collider assim passando a sensação ao participante que o veículos tem um condutor.

O FixedUpdate fornecido pelo Unity é o bloco central deste módulo fazendo a verificação de mudanças de faixa, chamando os métodos de mudança de direção e de aceleração como ApplySteer para mudar a faixa e Drive para manter a velocidade do veículo.

4.10.4 SuspensionCar

Este script controla a física do veículo com a suspensão. Simulando que existe um conjunto suspensão/roda no veículo como pode ser demonstrado na Figura 34. Estes tratam de simular a força aplicada ao veículo para gerar aceleração e andar para a frente impondo o limite de velocidade. Como também, tratam da aderência dos pneus ao chão em relação ao clima podendo diminuir se estiver chuva ou neve. Também ajustam da força que é aplicada no veículo ao realizar uma curva. Assim substituído o wheelcollider existente no Unity por uma solução customizada e com melhores definições. Estes valores têm de ser afinados para que possam funcionar corretamente pois caso algum seja inserido incorretamente o veículo pode não andar ou pode se tornar bastante difícil de conduzir.

A customização deste provém de um conjunto de variáveis que podem ser modificadas para alterar a experiência de condução. Para tal, foi utilizado Raycast, representado pela linha verde ilustrada na Figura 34 para medir o grau de compressão da suspensão e as variáveis principais que podem mudar a experiência de condução são as seguintes: restLength que trata da altura a que o carro fica quando não existe nenhuma interação, springTravel indica qual é a máxima compressão que pode existir, springStiffness que indica a rigidez da suspensão podendo ser mais mole ou rígida dependendo do valor colocado e por fim a damperStiffness que é o quão amortecidas vão ser as

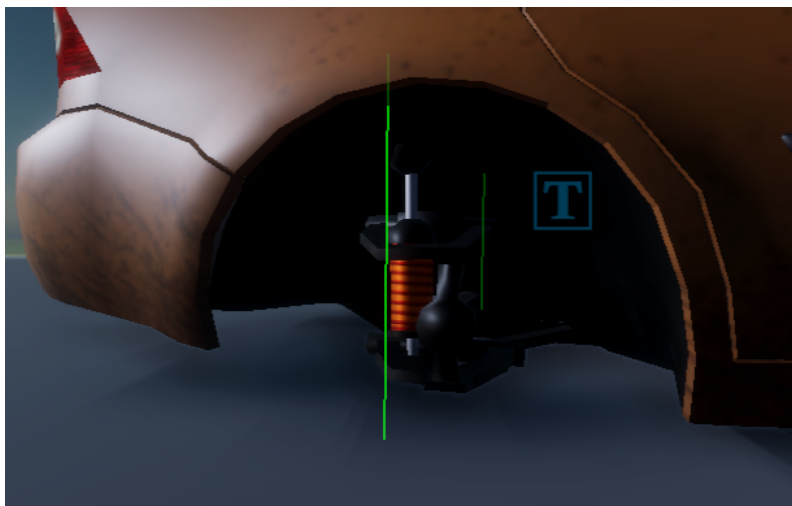


Figura 34. A suspensão demonstrada como linhas verdes que interagem com o chão

oscilações podendo também variar com o valor. A suspensão deste, a interação entre cada roda, o solo e a aderência do veículo ao chão depende das condições do tempo. A força longitudinal é calculada utilizando a aderência do veículo, a aceleração que está a ser fornecida no momento e a quantidade de força que a mola está a realizar, desta forma aumentando a força aplicada com base na carga de cada pneu.

A aderência do veículo como foi referido depende do clima quando está sol o valor da variável grip é 1 mas quando o clima muda para chuva esta passa a um valor de 0.7 indicando que houve alguma perda de tração nas rodas e quando neva, o valor desta passa a ser 0.4 indicando que a tração é mais baixa e havendo maior dificuldade a dirigir o veículo. Este valor só é alterado uma vez no início da cena fazendo a verificação das condições, e alterando o valor deste. As rodas dianteiras acabam por ter uma maior tração à estrada por haver um lateralGripMultiplier que serve de força extra para as curvas serem melhor realizadas, não fazendo o carro deslizar tanto na condução. A velocidade máxima é calculada com base num multiplier que passa esta de quilómetros por hora para metros por segundo e depois é verificado constantemente se esta velocidade não foi excedida pelo veículo usando a magnitude da velocidade das rodas, caso esta não tenha sido excedida então é aplicado mais força para manter a velocidade.

Existe ainda a força longitudinal e lateral, a longitudinal que controla tração do veículo. Esta é proporcionada ao input do acelerador e a força normal que é exercida no pneu. Desta forma quanto maior for a carga maior será a força aplicada. A força lateral representa a resistência ao deslizamento durante a execução de uma curva. Esta é calculada com base na velocidade lateral da roda e é

limitada por um valor máximo que depende da força normal e do coeficiente de aderência, simulando o limite físico de atrito do pneu

4.10.5 Traffic Manager

Este script trata de criar o trânsito que aparece quando a opção é selecionada. Este primeiramente gera um número aleatório de veículos em que este número é atribuído a cada veículo, estes geram a sua posição com base na posição do participante junto com o seu número aleatório multiplicando este com um valor e também posicionando este numa das três faixas. Posteriormente o veículo a ser gerado é escolhido sendo instanciado um carro, um caminhão ou um autocarro, sendo os últimos dois alterados na sua orientação para que fiquem corretamente alinhados com a pista. Por fim o veículo instanciado é adicionado numa lista. Depois estes são gerados na pista conforme a posição do participante e sempre que este ultrapassar um veículo, este é reposicionado mais a frente novamente assim permitindo reciclar os veículos existentes.

Os scripts alterados já existentes foram os seguintes

4.10.6 ChangeRoad

A única alteração realizada neste script foi a forma como é acedida variável que armazena o comprimento da pista. Esta foi modificada de uma variável estática para um PlayerPrefs, permitindo que o valor persista entre sessões e só seja modificado quando o utilizador alterar as opções no menu, garantindo assim que as configurações do teste se mantêm estáveis durante a recolha de dados com participantes.

4.10.7 StartLine

Neste script foi alterada a lógica de funcionamento, sendo só chamado uma vez durante o teste todo. É chamada uma corrotina no start que espera a estrada carregar e tenha um comprimento maior que zero assim usando a tag desta para posicionar os sinais de start e finish nas devidas posições. Caso a tag dos objetos seja "Respawn" é colocado estes no fim da estrada com uma unidade de distância do chão e com um valor de sidePosition definido de forma a que os dois sinais fiquem em lados opostos da pista. Caso contrário o objeto é posicionado no início da pista com as mesmas configurações de altura e distancia lateral.

4.10.8 FormMenus

O objetivo deste script é recolher algumas informações básicas para conseguir exportar os dados do participante para o Excel, é necessário fornecer um nome dado pelo investigador e o número aproximado de repetições que serão executadas. Houve alterações, na forma como os dados do nome e do número de repetições, são armazenados mudando estes de variáveis estáticas para PlayerPrefs . É verificado se o número de repetições é um inteiro positivo. Quando o participante der início para entrar na simulação, é verificado se não existe ninguém com o mesmo nome que o participante atual assim impedindo que haja sobrescrita de dados. É ainda calculado quantas mudanças de faixa são necessárias para a distância que foi fornecida no menu de opções.

4.10.9 Lockrotation

Originalmente, esta função bloqueava a rotação do veículo no eixo Z, impedindo que o veículo capotasse. Atualmente a sua funcionalidade foi alterada para verifica o input da tecla C e altera a perspetiva de visão alternando entre três câmaras existentes com uma dentro do veículo, uma em cima do capô, e a ultima na posição de terceira pessoa atrás do carro. Isto foi feito pelo facto de também existir esta capacidade no LCT anterior.

4.10.10 OptionMenu

Neste script houve algumas alterações e várias adições, uma vez que é responsável por armazenar todas as opções selecionadas e partilhá-las com as restantes cenas. Aqui a lógica manteve-se a mesma em que é feita a validação do input para saber se podem ser utilizados e armazenados como PlayerPrefs . Os parâmetros configuráveis incluem os valores do comprimento da pista, velocidade do carro, distância entre sinais e distância de aparecimento dos sinais. Em conjunto com estas foram adicionados alguns campos extra que permitem ao utilizador escolher como quer configurar o clima (chuva, neve ou nevoeiro) e hora do dia (dia, noite amanhecer) e se pretende colocar trânsito. Só o campo de seleção do dia fica ativo para realizar o teste normalmente enquanto os restantes ficam inativos por norma, podendo ser alterado quando necessário.

4.10.11 ResetLevel

Neste script houve alterações na lógica de funcionamento. Na função de start as variáveis de recolha de dados e a mudança de cena foram inicializadas a falso e é efetuada uma pesquisa pelo objeto com a tag Player. A função de OncollisionEnter foi modificada incluindo alguma lógica

adicional: a variável que recolhe dados é alterada de forma a que pare a recolha, o texto que informa o participante que pode mudar de cena é ativado e a aceleração do veículo é anulada impedindo o seu movimento. Por fim a função Update foi simplificada de forma a que seja verificado se o participante já pode mudar de cena e se foi pressionado na tecla R, assim procedendo com a mudança de cena.

4.10.12 SceneChanging

Este script sofreu várias alterações e adições para funcionar conforme pretendido. Na função Start é verificado se o participante irá repetir o teste e dependendo do resultado, a mensagem é altera por fim esta procura pelo objeto Store_values. Quanto a função Update esta verifica se a tecla R foi pressionada, e dependendo do número de repetições que o participante tiver realizado, este pode ser enviado para o menu principal ou para a cena de testes novamente incrementando o valor do número de repetições e guardando este. Por fim ainda dentro do update é verificado se já parou o armazenamento de dados e caso seja verdadeiro, é chamada uma função que trata de calcular a média do desvio para ser demonstrado ao participante, os valores são armazenado numa folha Excel, gerando os dados da posição esperada do participante na condução. Os valores da posição X e Y do veículo, a posição esperada, os valores de input do volante, o ângulo de direção do carro e a velocidade angular do carro do seu próprio eixo, são todos guardados numa folha Excel a forma como foram recolhidos.

4.10.13 ShowWarning

Neste script as alterações foram mínimas. Foi adicionada uma verificação que deteta quando algum objeto entra nas áreas delimitadas fora da estrada. É verificado utilizando a tag se o objeto que entrou corresponde à tag player ou não e caso seja é demonstrada uma mensagem a avisar que tem de voltar para a estrada como pode ser visualizado na Figura 35.

4.10.14 SignalPosition

Este script trata da parte mais importante do teste, que é o posicionamento dos sinais e da distância entre estes. Neste houve algumas alterações a nível do funcionamento tentando otimiza-ló e evitando o uso do Update. No Start foi alterada a forma como é realizada a leitura da variável e foi adicionada uma corrotina que aguarda pela existência da estrada e tenha um comprimento maior que zero, depois é calcula a quantidade de sinais a serem colocados na pista. Após o número

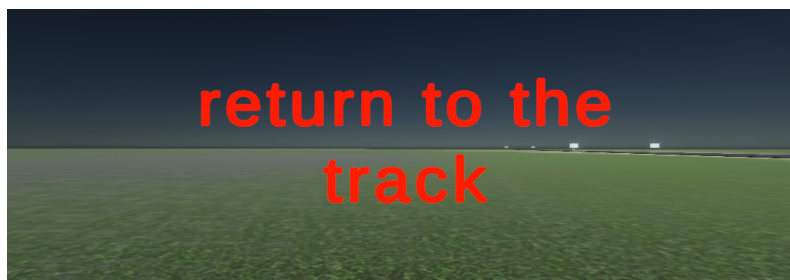


Figura 35. Aviso de saída de faixa de rodagem

de sinais ser calculado este são criados e posicionados usando um cálculo exponencial que permite que a distância entre os sinais não seja fixa tendo alguma variação entre eles. Cada um dos sinais é depois instanciado utilizando o número de sinais que tem de ser criados em conjunto com a distância entre eles e o valor exponencial gerado.

4.10.15 StoreValues

Neste script foi adicionada alguma lógica adicional que permite a recolha de dados complementares nomeadamente o input do volante, a orientação angular do veículo a posição do veículo e a sua posição esperada. Estes dados são todos fornecidos pelo veículo sendo atualizados em intervalos de 0.03 segundos. Estes são recolhidos durante os estudos e podem ser retirados no Excel após acabar o teste

4.10.16 CarMovement

Este script foi reestruturado, havendo alterações na sua lógica e separando parte desta para o SuspensionCar. Esta separação permitiu organizar o código, sendo que a obtenção e demonstração da velocidade do veículo passaram a depender do SuspensionCar que é procurado no início. Com a introdução de um novo método de input, o script foi adaptado para suportar tanto o input do teclado como o do volante e pedais. Relativamente à lógica de atualização, a função Update foi substituída pela FixedUpdate que é mais adequada para cálculos físicos. Em cada execução é calculado o ângulo de direção do veículo com base na rotação no eixo y do veículo atual e anterior, sendo este valor partilhado com o script StoreValues. É verificado se o sistema de input está operacional, sendo os valores dos pedais e volante lidos e utilizados para controlar o comportamento do veículo. Posteriormente para cada roda é calculada a velocidade e força a serem aplicadas com base no input. Nas rodas é ainda aplicado o ângulo de Ackerman que define o quanto cada roda deve girar para alterar a direção do veículo em função do movimento do volante. Este modelo de

direção determina que as rodas dianteiras assumam ângulos distintos durante uma curva, sendo o raio de curvatura calculado separadamente para cada roda, tendo em conta a largura do veículo. Os ângulos de direção são determinados através de uma relação trigonométrica da distância entre eixos e os raios de curvatura de cada roda dianteira. Por fim, os modelos das rodas são atualizados visualmente de acordo com o movimento, e é verificado se a tecla Esc é pressionada, permitindo ao utilizador sair da simulação em qualquer momento.

4.10.17 Spawn images

Este script é responsável por gerar os sinais de trânsito no ambiente de simulação, estes sinais são iguais aos sinais do LCT. O script determina qual a faixa para onde o condutor deve mudar com base na mudança de faixa anterior e um conjunto de contadores que equilibram a distribuição das mudanças de faixa ao longo do percurso. A seleção da faixa seguinte é feita de forma aleatória mas no caso de um dos contadores ficar a zeros, o outro é selecionado. Para cada sinal gerado são instanciados três prefabs como apresentado na Figura 36, um deles indica a faixa correta a seguir e os outros indicam as faixas a evitar. O script calcula a curva ideal esperada que o veículo tem de realizar, que fica armazenada numa lista e é posteriormente utilizada no cálculo do MDEV, servindo como referência para a posição lateral esperada do veículo a cada instante.

4.11 Otimizações de desempenho

Nesta secção são descritas as principais otimizações implementadas com o objetivo de garantir que o sistema desenvolvido cumprisse os requisitos definidos no padrão [2]. A estabilidade da simulação é um fator essencial, assegurando que os testes com participantes decorressem sem perder desempenho, sem comprometer os resultados.

A análise do desempenho foi efetuada com o recurso ao Unity Profiler, uma ferramenta que permite monitorizar em tempo real o consumo de CPU e GPU, memória e outras estatísticas importantes. A sua utilização permitiu identificar as principais partes que consumiam mais recursos, permitindo assim direcionar os esforços de otimização para as componentes mais críticas.

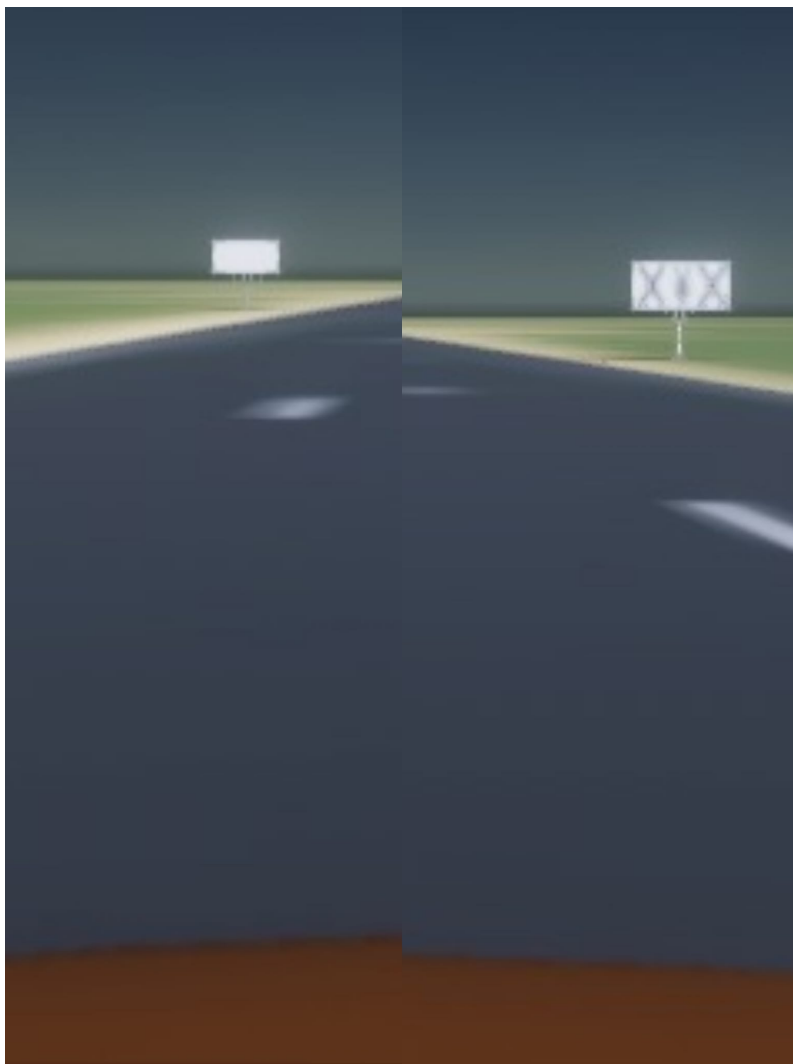


Figura 36. Demonstração da aparição dos sinais consoante a aproximação

4.11.1 Otimização ao nível do código

Foram efetuadas melhorias ao nível do código em alguns dos scripts existentes. Algumas funções que eram executadas repetidamente no método *Update()*, foram transferidas para o método *Start()*, garantindo que fossem apenas chamadas uma vez no momento em que era inicializado.

Esta alteração reduziu o número de operações a ser executadas por frame. Adicionalmente determinadas funções foram simplificadas com o objetivo de reduzir a complexidade computacional e melhorar a legibilidade do código.

4.11.2 Otimização na gestão da câmara

A gestão da câmara foi a componente com maior consumo de recursos devido ao facto de existirem três câmaras na mesma cena que demonstravam todas perspetivas diferentes do veículo. Para reduzir a carga, foram desativadas duas das três câmaras, sendo implementado um mecanismo que permitiu alternar entre cada uma delas, desativando as que não estavam em utilização.

Além disto, foram desativados diversos componentes no interior do veículo uma vez que não eram visíveis por nenhuma das câmaras ativas, evitando que recursos fossem alocados para o processamento destes.

Também foi alterada a distância de renderização da câmara, ajustando os limites para que objetos que estivessem muito distantes não fossem visíveis, em conjunto com os objetos que estivessem demasiado perto da câmara.

4.11.3 Otimizações na iluminação e sombra

Foram implementadas melhorias no sistema de iluminação, optando por calcular *Baked Lighting* em vez da iluminação dinâmica. Esta permitiu reduzir a carga dos recursos utilizados.

Adicionalmente foi reduzido o número de objetos com sombras ativas mantendo apenas os objetos cuja ausência de sombra seria perceptível visualmente. Foram também ajustados parâmetros como a resolução das sombras adequando-os às necessidades do sistema.

4.11.4 Objetos estáticos

Como vários objetos não apresentavam qualquer tipo de movimento, estes foram configurados como malhas estáticas, permitindo utilizar *static meshes*. Esta configuração reduziu o número de chamadas de renderização.

4.11.5 Ajustes na High Definition Render Pipeline

Na HDRP foram desativados ou reduzidos alguns dos efeitos existentes, e apesar de melhorarem a qualidade visual, estes não eram essenciais para os objetivos. Entre estes incluem-se:

- Redução da resolução e distância das sombras
- Desativação do Screen Space Global Illumination
- Desativação de Contact Shadows
- Ajuste do anti-aliasing mantendo a configuração mais adequada para o contexto.
- Redução do Screen Space Reflection

Foram igualmente removidos alguns efeitos de pós processamento como Ambient Occlusion, Bloom e Depth of Field uma vez que não eram fundamentais e contribuíam para uma diminuição na carga computacional.

4.11.6 Síntese das otimizações

As otimizações implementadas permitiram reduzir o consumo do CPU e GPU e melhorar a estabilidade do *frame rate*. Antes das otimizações a simulação operava a aproximadamente 30 fps, valor insuficiente para permitir ter uma experiência de condução fluida. Após a aplicação destas melhorias o framerate aumentou para uma média de 87 fps. Para validar o desempenho da simulação após otimizações, foram recolhidos dados de performance no mesmo computador utilizado para os testes experimentais com participantes, durante uma simulação de condução. Os valores obtidos foram:

- Número de frames analisados: 15632 - FPS médio: 87,2 - Latência média: 11,4 ms

Desta forma foi possível assegurar que o ambiente de simulação mantivesse um desempenho consistente evitando que as limitações técnicas interferissem na validade dos testes realizados com os participantes.

5 Testes com Participantes

Nesta secção são descritos os testes realizados com participantes, explicando o porquê de ser necessário fazer estes testes, qual a sua metodologia, as métricas que foram recolhidas e alguns dos problemas identificados.

O principal objetivo deste teste é comparar os resultados obtidos com esta ferramenta com os do LCT original, verificando se existe uma forte correlação entre ambas. Para tal, será utilizado o MDEV de cada tarefa como métrica de comparação, à semelhança do que é feito no LCT padrão quando comparado com estudos em campo.

Esta métrica é a que vai permitir a comparação entre ambas, indicando a variação lateral do veículo na execução de uma tarefa. A intenção é demonstrar que a nova versão do LCT apresenta um desempenho equivalente à versão anterior, no seu funcionamento garantindo que pode ser utilizada como substituta sem comprometer a credibilidade da medição. Para alcançar tal objetivo, são recolhidas as posições do veículo para obter o MDEV por tarefa. Assim, permite comparar os resultados que foram obtidos no LCT original com os que foram recolhidos neste teste. Caso exista uma alta correlação entre ambos, indicará que a nova versão pode ser utilizada da mesma forma que o LCT.

As tarefas realizadas no teste, foram retiradas do padrão onde foram validadas e estas foram ligeiramente adaptadas para conseguirem ser realizadas, sendo estas as seguintes:

1. Escrever coordenadas: Escrever o nome de um local no GPS;
2. Navegação no mapa: Procurar por um local no GPS;
3. Horários: Procurar por um horário específico;
4. Introduzir número de telemóvel: Escrever um número de telemóvel;
5. Ajustar som: Aumentar ou diminuir o som uma determinada quantidade de vezes;
6. Separar objetos: Separar 20 botões por cor colocando 10 destes fora do recipiente. Esta tarefa foi adaptada da original, que utiliza doces em vez de botões;
7. Papel: Desdobrar uma folha de papel dobrada 3 vezes. Esta tarefa foi adaptada da original, na qual era suposto abrir um pastilha elástica em vez de dobrar papel;

As tarefas utilizadas foram retiradas do padrão ISO, com exceção da tarefa de colocação de CDs num leitor, esta por motivos logísticos não foi realizada sendo então removida da lista. Também é de notar que as tarefas sofreram algumas alterações para que se encaixassem e pudessem ser realizadas. A tarefa de desdobrar o papel é suposto ser para desdobrar uma pastilha elástica mas como ambas são de natureza manual e as pastilhas elástica requerem uma enorme quantidade das mesmas foi escolhido o papel como substituto devido ao facto de o objetivo ser o mesmo. A tarefa de separação foi originalmente concebida com doces, tendo sido substituídos por botões devido à possibilidade de degradação dos mesmos durante o período de realização dos testes.

Nestas duas tarefas não foi realizada validação quantitativa de equivalência entre as tarefas originais e adaptadas, sendo recomendado como trabalho futuro realizar estudo comparativo com dados dos dois cenários.

5.1 Procedimento dos testes

O procedimento dos testes começava primeiramente com a receção do participante. A este era apresentado o consentimento informado sobre os dados que seriam recolhidos durante o teste. Posteriormente, os participantes responderiam a um inquérito que solicitava informações demográficas básicas e informações sobre a experiência de condução do participante.

De seguida, era explicado o que seria realizado no teste e como seria o procedimento do mesmo. Caso o participante aceitasse a gravação de vídeo, esta seria colocada a gravar.

Seguidamente, os participantes praticavam a condução na ferramenta desenvolvida, no mínimo duas vezes. Permitindo a estes habituarem-se à condução do veículo e ao mesmo tempo ajustarem a sua posição de condução, caso necessário. Após praticarem era realizado um baseline em que os objetivos eram obter um desvio padrão menor que 1.2 metros e não falhar nenhuma mudança de faixa. Ao terminar a etapa anterior os participantes tinham de realizar as tarefas que lhes fossem pedidas entre 3 a 5 vezes. Servindo assim de base de comparação para as repetições seguintes. Não havia treino nas tarefas sendo só realizado estas as vezes instruídas. Aqui também, era requisitado para o participante ao terminar a tarefa dar sinal de que terminou a mesma no teste.

Assim que esta tarefa terminasse era novamente explicado ao participante de forma breve qual o procedimento da fase principal do teste. Os participantes iniciavam a condução do teste em conjunto com a realização de tarefas. O circuito realizado pelos participantes era gerado aleatoriamente em

cada volta dada. Estas eram seleccionadas aleatoriamente, sendo necessário recolher um mínimo de 2 minutos de dados. Assim tendo de ser repetidas múltiplas vezes até atingir o tempo mínimo. Foi equilibrado o tempo entre cada tarefa para que não chegassem perto do final do teste a realizar uma única tarefa. Existindo algumas dificuldades devido ao facto de algumas destas serem realizadas rapidamente pelos participantes. No fim do teste e após a recolha dos dois minutos de dados de cada uma das tarefas o participante descansava por alguns minutos. Depois voltando a conduzir o veículo sem qualquer outra tarefa assim gerando mais uma baseline para servir de comparação.



Figura 37. Setup utilizado na realização dos testes

O equipamento utilizado é apresentado na Figura 37, sendo descrito seguidamente:

- Volante thrustmaster t150 force feedback, que vem em conjunto com pedais de aceleração e travagem;
- Portátil da Asus modelo- FX505GD_FX505GD.
 - GPU utilizado GeForce GTX 1050;
 - CPU utilizado Intel Core i7-8750H 2.2GH;
 - 16 GB de Ram;
- O LCT criado instalado no portátil;
- Consentimento Informado;
- Cronómetro para medição dos tempos de cada tarefa;
- Material para apontar os tempos de cada tarefa do participante;

- Uma câmara de gravação caso o participante dê o consentimento para gravação;
- Um telemóvel que permita a realização das tarefas referidas anteriormente sendo estas as do GPS, colocação de um número de telemóvel, e aumentar o som deste;
- Caixa com 20 botões, com duas cores diferentes;
- Horário de autocarros;
- Papel dobrado 3 vezes;
- Formulário que o participante tem de responder;

Para além deste equipamento, foram também definidas condições experimentais específicas, descritas de seguida.

- A distância dos olhos do participante ao ecrã do portátil excedia por cerca de 10 centímetros do limite colocado no padrão que era 60 centímetros, isto devido a fatores físicos, sendo estes o facto de o espaço ocupado pelo volante que estendia o posicionamento do portátil em conjunto com a distância a que os participantes se posicionam para a condução, fazendo com que a distância variasse entre participantes, sendo pretendido reduzir esta sem muito sucesso.
- A sala encontrava-se sempre bem iluminada com as luzes acesas e era evitado que o brilho do sol coincidisse nos olhos devido ao posicionamento do participante virado para a janela, para tal as persianas eram fechadas.
- O nível de ruído e distrações era mantido a um mínimo, à exceção de os ocasionais passos ouvidos no corredor e os pedidos para realizar as tarefas.
- Os materiais eram colocados permitindo facilitar o acesso a estes, sendo as tarefas que não necessitassem de tanta destreza nas mãos colocadas no lado esquerdo, tais como as tarefas de desdobrar o papel e de ver os horários. As que necessitassem de maior destreza nas mãos eram colocadas no lado direito sendo estas a de separação dos botões e as tarefas que são realizadas no telemóvel.
- O volante e a cadeira não eram ajustáveis quanto a sua altura sendo só a sua posição lateral. O assento era rígido ajudando na estabilidade do participante permitindo que este se movimentasse sem muitos problemas. O assento tinha uma altura de cerca de 40 centímetros do

chão e a mesa utilizada permitia que o material ficasse a cerca de 70 centímetros do chão. Permitindo que qualquer um conseguisse alcançar a mesa sem muitos problemas. Com isto devido ao assento e volante não serem ajustáveis torna a condução mais desconfortável para alguns participantes.

- Os pedais de aceleração e os de travagem estavam no chão com uma distância entre 50 a 60 centímetros do participante para que este pudesse usar ambos com alguma destreza. Estes não eram fixos ao chão sendo só fixos pelo atrito, podendo ocasionalmente deslocar-se ou oscilar.
- Não foi necessário a utilização do cinto de segurança pois as tarefas e o teste não tinham como objetivo verificar se o participante conseguia realizar estas com o cinto, ou ver se o cinto poderia afetar a realização da tarefa.

5.2 Métricas

Para validar o simulador desenvolvido, foram recolhidas as métricas essenciais conforme ISO 26022 e alinhadas com as métricas de referência encontradas no estado da arte. Dado que o objetivo era validar a implementação do LCT, focou-se na métrica fundamental - MDEV (desvio médio) - complementada com dados de tarefa secundária e parâmetros de dinâmica veicular pedidos pelo ISO 26022

Especificamente as métricas recolhidas durante estes testes foram o tempo de execução da tarefa e o número de erros da mesma. Também, foram obtidas as posições do veículo que o participante conduzia tanto lateral, como longitudinal permitindo assim calcular o desvio médio (MDEV), em conjunto com a posição em que o mesmo deveria de estar. Adicionalmente, foi recolhido o ângulo de direção que o veículo se encontrava no momento, o input do volante e a velocidade de rotação sendo estas algumas medidas extras pedidas pela ISO 26022. Os dados recolhidos tinham como propósito permitir uma comparação com os dados que foram observados no LCT, sendo as métricas de maior importância a posição do veículo e onde este deveria de estar a cada instante assim permitindo comparar os desvios médios (MDEV) dos participantes.

Estas deveriam ter sido recolhidas a uma frequência de 10 Hz por metro ou seja a 166,7 Hz por segundo a percorrer o circuito a 60 Km/h. Devido a uma incorreta interpretação do requisito definido no padrão foi recolhido a uma menor frequência do que a indicado, sendo que esta foi

recolhida a 10 Hz por segundo. O que poderá causar alguma imprecisão na avaliação, que requererá nova validação

Os 16 participantes escolhidos para este teste, necessitavam obrigatoriamente de ter carta de condução. E poderiam ter qualquer idade a partir dos 18 anos até aos 50 com aptidão mental e física para tal. No mínimo era necessário ter 16 participantes com alguma experiência de condução.

Foi realizado um pedido de parecer para a realização dos testes à comissão de proteção de dados para saber se é possível realizar o teste.

6 Análise e Discussão dos Resultados

Nesta secção é realizada a análise e discussão dos resultados obtidos com a ferramenta desenvolvida. O objetivo é avaliar a validade da ferramenta através da comparação dos resultados desta com uma ferramenta previamente validada. Para tal foram recolhidas as seguintes métricas:

- o desvio lateral em metros
- o tempo de execução da tarefa;
- o número de erros durante a sua execução da tarefa;
- o desvio padrão;

A validação da ferramenta é realizada através da análise da correlação entre os MDEV obtidos por tarefa em ambas as ferramentas.

6.1 Metodologia de Recolha de Dados

Estes dados foram recolhidos durante as sessões experimentais, nas quais era solicitado a cada participante que executasse uma das 7 tarefas disponíveis, evitando que repetisse a mesma consecutivamente, replicando o padrão. Quando era iniciada uma das tarefas era ativado o cronómetro, sendo suspenso no final da mesma, registando manualmente o tempo de execução. Posteriormente foi contabilizado o número de erros cometidos em cada tarefa. Como foi referido as tarefas foram repetidas até perfazer no mínimo 2 minutos de dados válidos para cada uma destas. Todos os participantes realizaram os testes nas mesmas condições experimentais.

As tarefas apresentadas na execução dos testes podem ainda ser divididas em 3 categorias de acordo com a sua natureza:

- **Tarefas manuais:** Separação de objetos ilustrado na Figura 39, ajustar o volume demonstrado pela Figura 40 e desdobrar o papel. Estas requerem sobretudo esforço motor, sem grande exigência cognitiva.
- **Tarefas cognitivo-manuais:** Colocação de coordenadas num GPS representado na Figura 40, procura de coordenadas num GPS demonstrado pela Figura 40 e introdução de um número de telemóvel ilustrado pela Figura 39. Nestas é necessário reter ou recordar informação fornecida e inseri-la num dispositivo.

- **Tarefas visuais:** Consulta de horários apresentado na Figura 38. Nesta apenas é necessário visualizar e localizar a informação pedida.

Rede Santana Santana Network											
com destino a/ to: SANTANA - S. JORGE - ARCO S. JORGE											
2ª a 6ª Feira / Monday to Friday											
Funchal	Cet.	Peixe	P. Cruz (Time)	Ribeiro Frio	S. Roque do Faial	Cruzinhas	Faial	Santana	S. Jorge	Cabanas	Arco de S. Jorge
07.30	103	—	08.10	—	08.15	08.30	08.40	09.00 a)	—	—	—
08.10	56	08.40	—	—	08.50	09.10	—	09.20	10.20	10.35	10.50
10.00	56	10.33	—	10.41	—	11.04	11.10	11.25	—	—	—
13.30	103	14.06	—	14.16	14.32	14.44	14.54	15.12	16.00	16.14	16.25
16.00	103	—	16.40	—	—	16.45	17.00	17.35	17.52	18.05	—
17.05	56	—	17.45	—	17.55	18.10	18.20	—	—	—	—
18.00	103	—	18.43	—	—	18.47	19.02	19.25	19.40	19.50	—
18.30	138	19.06	—	19.18	19.39	19.50	20.00	20.07	20.45	—	—
19.30	138	—	20.10	—	20.15	20.32	20.40	20.57	21.15	21.30	—
Sábados / Saturdays											
Funchal	Cet.	Peixe	P. Cruz (Time)	Ribeiro Frio	S. Roque do Faial	Cruzinhas	Faial	Santana	S. Jorge	Cabanas	Arco de S. Jorge
07.30	103	08.03	—	08.12	08.33	08.44	08.53	09.13 a)	10.01	10.14	10.25
10.00	56	10.30	—	10.42	10.59	—	11.05	11.20 a)	—	—	—
13.30	103	14.04	—	14.13	—	14.30	14.40	14.55	15.15	15.25	15.35
18.00	103	18.30	—	18.40	19.00	19.10	19.20	19.35	20.00	20.15	20.25
Domingos e Feriados / Sundays and Holidays											
Funchal	Cet.	Peixe	P. Cruz (Time)	Ribeiro Frio	S. Roque do Faial	Cruzinhas	Faial	Santana	S. Jorge	Cabanas	Arco de S. Jorge
07.30	103	08.03	—	08.12	08.33	08.45	08.58	09.18 a)	10.03	10.15	10.25
10.30	56	11.05	—	11.15	—	11.30	11.35	12.00 a)	—	—	—
18.00	103	18.30	—	18.40	—	18.55	19.05	19.20	19.40	19.55	20.05

Figura 38. Horário utilizado na tarefa dos horários

6.2 Caracterização da Amostra

Foram recolhidos dados sociodemográficos dos participantes através de um questionário, permitindo criar um perfil da amostra. A idade média dos participantes foi de 23 anos, com idades compreendidas entre os 19 e os 29 anos, sendo cerca de 76% do género masculino. Relativamente à experiência de condução, a maioria dos participantes possuía carta de condução há três anos, com uma média de 3.2 anos. No que diz respeito à frequência de condução, 41.2% dos participantes conduzia diariamente, 35.3% raramente, ou seja, menos de uma vez por semana, 5.9% dos participantes conduzem a duas a três vezes por semana e 17.6% conduz quatro a cinco vezes por semana. A distância média percorrida nos dias em que conduziam era de 22 km, com um mínimo de 5 km e um máximo de 70 km. Quanto ao nível de escolaridade, a maioria dos participantes possuía licenciatura, seguida de participantes com ensino secundário completo.

6.3 Análise do Desvio Lateral Médio (MDEV)

O cálculo do MDEV foi efetuado utilizando a diferença entre a posição lateral do veículo com a posição ideal esperada a cada instante. Este cálculo foi realizado para a o conjunto de dados onde existia condução em simultâneo com a execução da tarefa secundária, sendo posteriormente segmentado por tarefa. Para cada tipo de tarefa, os desvios correspondentes foram agregados, permitindo o cálculo da média do desvio lateral associado a cada tarefa.



Figura 39. Tarefa dos botões e telemóvel

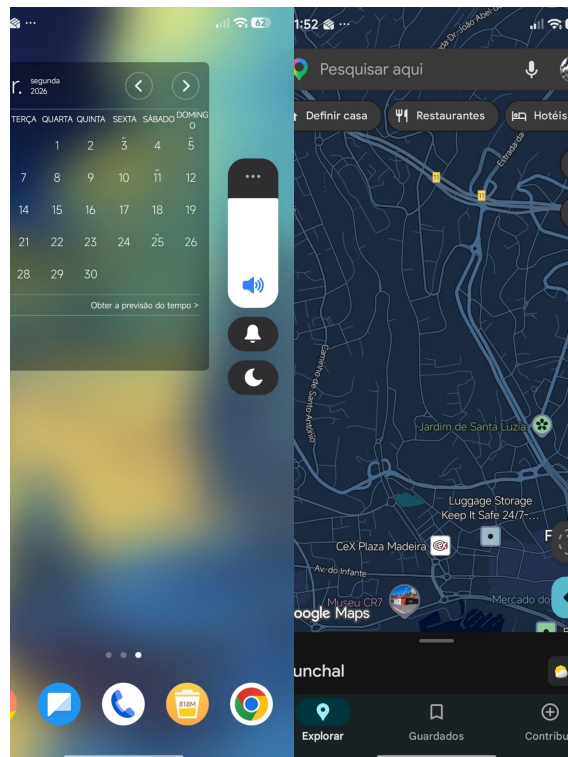


Figura 40. Tarefa do GPS e do som

Os valores de MDEV obtidos pela ferramenta desenvolvida em conjunto com a ferramenta já existente estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1. Comparação dos valores de MDEV entre a ferramenta desenvolvida e o sistema de referência

Tarefa	Ferramenta Desenvolvida	Sistema de Referência
Horários	-0.076	-0.480
Desdobrar item	0.141	0.725
Colocar coordenadas no GPS	0.068	-1.045
Procurar coordenadas no GPS	0.024	-0.205
Colocar número de telemóvel	0.095	1.445
Aumentar o volume	0.049	-1.155
Separação de objetos	-0.233	-0.545

Relativamente ao sistema anterior, embora algumas tarefas não sejam equivalentes, foram consideradas tarefas com objetivos semelhantes.

A correlação entre os desvios médios das duas ferramentas foi calculada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, tendo sido obtido um valor de $R = 0.4428$. O valor de $p\text{-value} = 0.319$, e o coeficiente de determinação apresentou um valor de $R^2 = 0.196$.

6.4 Análise dos Índices de Desempenho de Tarefas Secundarias(SPT)

Para complementar a análise do MDEV, foram calculados dois índices adicionais com base nos resultados retirados do tempo de execução da tarefa e o número de erros efetuados durante a execução desta. De acordo com a norma ISO 26022 [2] estes índices permitem avaliar o impacto da tarefa secundária no desempenho de condução. A proporção STP é calculada com base no desempenho relativo entre a condição de tarefa única e a condição de tarefa dupla. Esta métrica é fundamental para interpretar a magnitude do impacto da tarefa secundária:

- Se STP for inferior ou igual a 1,0: A tarefa secundária não causa degradação significativa no desempenho de condução. Neste caso, o valor de MDEV por si só é suficiente para avaliar a exigência da tarefa.
- Se STP for superior a 1,0: A tarefa secundária produz degradação no desempenho de condução. Quando a proporção STP excede 1,0, tanto o MDEV como a proporção STP devem ser utilizados conjuntamente para uma avaliação completa da exigência e impacto da tarefa.

Esta análise conjunta de MDEV e STP permite ao investigador quantificar e comparar o impacto de diferentes tarefas secundárias de forma objetiva e conforme o padrão ISO 26022. Estes índices são o índice de tempo de execução e o índice de número de erros.

O índice de tempo de execução é calculado da seguinte forma:

$$I_{\text{tempo}} = \frac{T_{\text{dual}}}{T_{\text{single}}}$$

em que T_{dual} representa o tempo médio de execução da tarefa secundária em condição de dupla tarefa e o T_{single} o tempo médio em condição de única tarefa .

O índice do número de erros é calculado da seguinte forma:

$$I_{\text{erros}} = \frac{E_{\text{dual}}}{E_{\text{single}} \times N}$$

Em que E_{dual} representa o número total de erros em condição de dupla tarefa e o E_{single} o número médio de erros em condição de única tarefa , e N o número total de repetições realizadas da tarefa.

Em ambos os casos, um valor superior a 1 indica que a tarefa secundária afeta o desempenho do condutor, devendo ser utilizado em conjunto com o MDEV para avaliar a exigência da tarefa. Um valor inferior a 1 indica que a tarefa não aumentou o tempo de execução nem o número de erros em condição de condução, podendo avaliar apenas utilizando o MDEV. É de notar que no caso do número de erros ser zero no denominador deve ser utilizado o número de erros que foram realizados durante os testes em condição dupla.

As médias do desvio padrão obtido por tarefa estão ilustrada na tabela 2 e os valores são:

Os índices de tempo e de erros obtidos por participante são apresentados nas tabelas 3 e 4

6.5 Discussão dos Resultados

De forma geral, os resultados obtidos demonstram que em média, todas as tarefas interferem com a condução. Com exceção de alguns casos pontuais, nenhuma tarefa foi executada mais ra-

Tabela 2. Desvio padrão em cada tarefa

Tarefa	Desvio Padrão
Horários	2.2
Desdobrar item	1.7
Colocar coordenadas no GPS	1.72
Procurar coordenadas no GPS	2.9
Colocar número de telemóvel	1.8
Aumentar o volume	1.0
Separação de objetos	1.6

Tabela 3. STP — índices do tempo médio por tarefa

Participante	GPS1	GPS2	Telemóvel	Horário	Som	Botão	Papel
p1	2.50	2.20	1.30	1.00	1.50	1.10	2.90
p2	2.20	2.70	1.40	1.50	0.60	1.30	1.30
p3	2.00	1.70	1.30	1.00	0.70	1.20	1.90
p4	1.40	1.70	1.40	0.90	0.80	1.40	1.60
p5	0.86	0.80	1.50	1.60	1.20	1.30	2.50
p6	1.60	1.00	1.33	1.30	0.80	1.40	1.80
p7	1.50	1.30	4.25	1.10	1.10	0.98	1.60
p8	1.30	1.60	1.40	0.80	1.10	1.70	1.00
p9	0.94	1.05	1.20	0.90	1.00	1.20	1.10
p10	1.60	1.30	1.33	0.90	1.10	1.41	1.60
p11	2.60	2.00	1.60	0.80	1.20	1.40	1.60
p12	1.70	2.00	1.50	1.44	1.00	1.40	1.30
p13	1.20	1.40	1.40	1.50	1.30	1.50	1.40
p14	1.90	0.80	1.40	1.00	1.10	2.50	1.40
p15	4.70	0.40	1.50	0.80	0.80	1.60	1.00
p16	1.20	0.90	1.20	1.20	1.40	2.30	1.60
Média	1.83	1.43	1.56	1.11	1.00	1.48	1.60

pidamente em condição de dupla tarefa do que em condição de única tarefa, o que indica que a condução compete pelos recursos cognitivos e motores dos participantes. Deste modo, na maioria das tarefas é recomendável utilizar em conjunto com o MDEV, o índice de tempo e o índice de erros para avaliar a exigência imposta ao condutor.

Uma análise mais aprofundada por tarefa é apresentada de seguida.

1. Colocar coordenadas no GPS: Esta é a tarefa com o índice de erros mais elevado, o que indica que em condições de condução os participantes cometeram mais erros do que isoladamente. O MDEV moderado e o desvio padrão alto sugerem que existe uma grande variabilidade entre

Tabela 4. STP — índices do número de erros médio por tarefa

Participante	GPS1	GPS2	Telemóvel	Horário	Som	Botão	Papel
p1	1.80	1.30	0.27	1.00	0.00	5.00	5.00
p2	1.80	7.80	0.20	2.00	0.50	0.00	4.00
p3	10.00	0.70	4.10	0.40	0.40	2.00	6.00
p4	3.00	0.20	1.00	1.00	0.90	0.10	6.00
p5	0.30	1.50	0.93	0.30	0.40	3.00	7.00
p6	1.30	1.50	0.60	0.00	7.00	8.00	7.00
p7	0.90	0.40	1.00	0.55	0.30	7.00	1.00
p8	0.80	0.60	1.60	0.40	0.30	2.00	9.00
p9	0.90	0.46	3.10	1.48	0.70	0.00	3.00
p10	0.80	2.00	0.94	4.00	0.70	3.00	4.00
p11	6.00	0.60	9.00	1.00	0.25	1.00	8.00
p12	18.00	24.00	3.00	1.00	1.00	2.00	7.00
p13	0.00	4.00	6.00	0.30	15.00	2.00	6.00
p14	4.00	6.00	0.20	0.60	2.30	2.00	6.00
p15	18.00	0.15	0.36	3.00	0.40	1.60	8.00
p16	21.30	0.12	2.00	0.00	0.80	0.00	12.00
Média	5.60	3.20	2.10	1.10	1.90	2.40	6.20

participantes. Assim esta é uma tarefa exigente com alto custo tanto em tempo de execução como em precisão.

2. Procurar coordenadas no GPS: Esta apesar de ter o menor MDEV de todas as tarefas, também é a que tem o maior desvio padrão indicando que tem uma grande variabilidade entre participantes. O índice de erros é elevado, demonstrando que esta tarefa é exigente mas não estando no mesmo nível que a tarefa de colocar coordenadas no GPS
3. Colocar um número de telemóvel: O MDEV desta é o segundo mais alto, e além disso os restantes valores do tempo de execução e o número de erros efetuados também são elevados. Esta tem um impacto significativo na condução afetando o controlo do veículo.
4. Horários: Esta é a tarefa com os menores índices, tanto de tempo de execução como de número de erros efetuados. O MDEV desta é negativo indicando que em média os participantes deslocavam-se mais para a esquerda na realização da tarefa, o que pode estar relacionado com o posicionamento da tarefa no teste pois esta encontrava-se a esquerda. O desvio padrão alto indica uma alta variabilidade entre os participantes. Assim sendo pode ser concluído que esta

tarefa tem uma baixa interferência na condução mas tem algum impacto no posicionamento lateral do veículo em relação à tarefa.

5. Aumentar o volume: Esta tarefa é a que tem o menor índice de tempo de execução de tarefa com um valor de 1, ou seja não houve um aumento do tempo de realização da tarefa quando em condução. No entanto existiram alguns erros isto pode ter sido devido ao facto de estarem a realizar a tarefa enquanto conduzem sendo capazes de realizar com alguma facilidade mas sem muita precisão. Esta tem o menor desvio padrão de todas, indicando que os participantes não se desviaram muito, não havendo grande variabilidade entre estes. Assim pode ser concluído que esta é uma tarefa de baixo impacto durante a condução, mas sofre um aumento significativo no número de erros durante a execução possivelmente porque é realizada com pouca atenção à mesma.
6. Separação de Objetos: Esta tem o MDEV mais negativo de todas as tarefas e os índices de erros ligeiramente alto, duplicando o número de erros na realização da tarefa em condição de condução. Isto indica que os participantes na realização da tarefa têm tendência a ir para a esquerda, e que durante a condição de dual task perdem a atenção no que estão a recolher levando a um maior índice de erros. Esta tem um grande impacto na condução devido ao MDEV elevado, isto porque requer alguma atenção do participante para saber o que recolher.
7. Desdobrar item: Esta tarefa tem o índice de erros mais alto de todas combinando com o MDEV de 0.141. Pode ser inferido que desdobrar o papel é a tarefa que mais compromete a precisão da execução em tarefa dupla, isto provavelmente devido ao facto de, em alguns dos casos necessitar de alguma atenção e de ambas as mãos (sem que ambas saiam do volante ao mesmo tempo) para a realização da tarefa. Esta é a tarefa com o pior desempenho global devido ao seu elevado desvio e ao alto número de erros.

Considerando as categorias de tarefas definidas anteriormente, verifica-se que as **tarefas cognitivo-manuais** (GPS e telemóvel) são as que produzem maior índice de erros e maior tempo de execução, sendo as mais exigentes em termos de recursos cognitivos e motores. Em particular, colocar coordenadas no GPS apresenta um índice de erros elevado (5.60) e o índice de tempo mais alto (1.83), enquanto procurar coordenadas no GPS, apesar de ter um índice de tempo menor, regista o maior desvio padrão de todas as tarefas (2.9), revelando uma grande variabilidade entre participantes. A tarefa de colocar um número de telemóvel apresenta também valores elevados, com o segundo

índice de tempo mais alto (1.56). As **tarefas manuais** (desdobrar o papel e separar objetos) destacam-se pelo elevado índice de erros, sendo de notar que desdobrar o papel regista o valor mais alto de todas as tarefas (6.20), provavelmente devido ao facto de exigir ambas as mãos e alguma atenção visual para a sua execução. A **tarefa visual** (horários) apresenta os valores mais baixos em todas as métricas, sendo a de menor impacto global na condução.

6.6 Limitações

As principais limitações deste estudo prendem-se com o facto de algumas tarefas não serem exatamente equivalentes às utilizadas no estudo de referência, existindo diferenças metodológicas que, embora não alterem o objetivo das tarefas, condicionam a comparabilidade direta dos resultados. Além disso, o número reduzido de pontos de comparação disponíveis (7 tarefas) limita o poder estatístico da análise de correlação. Por fim, a duração mínima de 2 minutos por tarefa pode ter sido insuficiente para capturar a totalidade do comportamento dos participantes, sendo expectável que uma janela temporal alargada fornecesse dados mais robustos.

6.7 Conclusão

Embora os resultados demonstrados não permitam validar estatisticamente a ferramenta desenvolvida, devido ao valor elevado do *p-value* e ao reduzido número de pontos de comparação, é possível observar uma tendência positiva entre os desvios medidos pela ferramenta e os do sistema de referência. Esta tendência sugere que a ferramenta é capaz de reproduzir padrões de comportamento próximos dos do sistema de referência, distinguindo entre diferentes níveis de exigência das tarefas.

É importante notar que as limitações podem ter influenciado os resultados. O estudo de referência utilizado para a validação apresentava poucos dados, e dado que algumas das tarefas não foram replicadas de forma equivalente ao padrão, isto pode ter introduzido discrepâncias nos resultados. Adicionalmente os valores retirados do padrão tiveram de ser extrapolados graficamente, uma vez que estes não foram fornecidos de forma explícita aumentando ainda mais a margem de erro da comparação. Por fim, foi identificado um erro na frequência de amostragem que pode igualmente ter afetado a precisão dos dados recolhidos.

No entanto a ferramenta desenvolvida apresenta a nível funcional, ser capaz de replicar o comportamento padrão do LCT, oferecendo simultaneamente um conjunto de funcionalidades numa

arquitetura moderna, modular e portátil. Estes resultados, apesar de inconclusivos fornecem uma base para o trabalho futuro nomeadamente com maior volume de dados e condições de testes mais controlados

7 Conclusão

Neste projeto, o objetivo foi o desenvolvimento e validação de uma ferramenta de simulação que se destina a análise do comportamento dos condutores, introduzindo distrações durante a condução. A ferramenta desenvolvida foi melhorada de forma a cumprir o padrão estabelecido e simultaneamente, permitir simular diferentes climas como chuva, nevoeiro e neve, diferentes períodos do dia como noite e dia, ou a presença de trânsito. Também foi adicionada física mais complexa no veículo, de modo a simular melhor o comportamento do veículo. Esta foi também concebida para facilitar a execução e controlo dos testes experimentais, sendo mais flexível e controlado permitindo realizar a análise da condução, através da medição do desvio lateral, o tempo de execução das tarefas, o número de erros cometidos e o desvio padrão.

A ferramenta desenvolvida permite facilitar a recolha e análise de dados dos testes, exportando estes para uma folha Excel, e possibilitando a modificação do clima e das configurações dos testes, proporcionando uma maior variedade de condições experimentais. O simulador criado teve de ser validado executando testes com participantes semelhantes aos do padrão.

Com os resultados obtidos nos testes, é possível verificar que apesar de existir uma correlação positiva entre ambas as ferramentas ($r = 0.4428$) esta correlação não é estatisticamente significativa devido ao valor de $p\text{-value} = 0.319$. Este resultado pode estar relacionado com o reduzido número de pontos de comparação e às diferenças entre algumas das tarefas utilizadas. Deste modo deverão ser realizados mais testes utilizando os mesmos métodos e o mesmo número de tarefas que o padrão, de forma a corroborar se esta pode ser realmente utilizada como substituta da anteriormente desenvolvida. As principais limitações identificadas com estes testes são que algumas das tarefas realizadas são ligeiramente diferentes do padrão e não foram utilizado o mesmo número de tarefas que o padrão.

Em conclusão os objetivos propostos para o desenvolvimento foram alcançados com sucesso, tanto na criação de um simulador funcional, flexível e capaz de recolher e exportar dados de forma automática, no entanto a validação estatística da ferramenta não foi concluída. A correlação obtida é insuficiente para afirmar que a ferramenta constitui uma alternativa válida ao Lane Change Test original. Ainda assim a ferramenta demonstra estar funcional e adequada para estudos exploratórios nos quais o objetivo seja comparar tarefas entre si dentro das mesmas condições controladas dos testes e maior facilidade na recolha e análise dos dados obtidos.

7.1 Trabalhos futuros

Como desenvolvimentos prioritários, propõem-se as seguintes melhorias estruturais:

- Reestruturar o sistema de armazenamento dos dados no menu: Substituir a utilização de player-prefs por um sistema de persistência mais robusto, garantindo uma melhor integridade no armazenamento das opções e maior velocidade na passagem destas entre cenas.
- Integrar um sistema de som no motor e um sistema de aviso: Colocar no veículo um sistema de som de um motor e um sistema de aviso quando o participante estiver a sair além dos limites aceitáveis da pista
- Ajustar o sistema de recolha de dados de acordo com o padrão: Adaptar o sistema de forma a que os dados sejam recolhidos conforme é pedido no padrão de 10 Hz por metro facilitando a comparação dos resultados entre ambas as ferramentas.
- Melhorar o controlo de velocidade: Ajustar o velocímetro existente para que este não tenha em consideração a velocidade angular do veículo e so registe a velocidade no eixo de maior movimento deste
- Realizar novos testes com participantes utilizando hardware de maior qualidade, proporcionando uma experiência mais fluida. Os testes deverão ainda envolver um maior número de participantes, preferencialmente com mais experiência de condução, e poderão ter uma duração mais alargada, permitindo assim a recolha de dados mais precisos e representativos.
- Deve ser realizado um teste com as diferentes condições climáticas, para obter informação sobre o impacto destas condições nas tarefas e na condução. Os testes podem ser realizados com uma tarefa base enquanto são testados os diferentes climas.

Para além das melhorias estruturais, propõem-se ainda as seguintes implementações adicionais:

- Realizar a separação de períodos com tarefa na recolha de dados: Inserir um mecanismo explícito que permite separar o início e fim da tarefa podendo ser o clicar de um botão. Assim permitindo uma segmentação temporal mais precisa e uma análise mais rigorosa do desempenho durante períodos de distração.

- Alteração da intensidade de eventos climáticos: Permitir realizar a alteração da intensidade do clima escolhido para o teste possibilitando aumentar ou diminuir a visibilidade ou alterar a aderência, possibilitando uma maior variedade na execução dos testes

Estas são as sugestões que podem ser implementadas para possivelmente melhorar a validade desta ferramenta e facilitar sua utilização.

Consentimento Informado, Esclarecido e Livre

Título do Estudo: Lane Change Test

Investigador(es) Principa(l/is):

Nome: Tiago Augusto Noite Meneses

Instituição: Universidade da madeira

Email: 2076520@student.uma.pt

Outros investigadores:

Nome: Filipe Magno de Gouveia Quintal

Instituição: Universidade da madeira

Email: filipe.quintal@staff.uma.pt

PORQUE ESTÁ ESTE ESTUDO A SER REALIZADO?

Foi criada uma simulação de condução baseada no Lane Change Test (LCT), com capacidades adicionais que permitem recolher mais dados sobre o desempenho do condutor. Este estudo tem como objetivo verificar se os resultados obtidos nesta nova versão da simulação são comparáveis ou superiores aos da versão original do LCT. Pretende-se assim avaliar a validade e eficácia da versão criada como ferramenta de avaliação. Todos os participantes devem possuir carta de condução e alguma experiência de condução. O teste terá uma duração estimada entre 40 a 50 minutos.

EM QUE CONSISTE O ESTUDO?

O estudo é composto por várias etapas. Primeiro, os participantes responderão a um questionário inicial. Em seguida, realizarão uma fase de prática do teste Lane Change Test(LCT) até obedecerem a certos critérios e depois praticarão oito tarefas secundárias. Após a fase de prática, os participantes realizarão o LCT novamente, agora em simultâneo com as tarefas secundárias, até serem recolhidos dois minutos de dados para cada uma delas. No final, será realizada uma última fase de baseline para recolher informações adicionais. A duração total prevista do estudo é de 40 a 50 minutos.

QUANTAS SESSÕES INCLUI O ESTUDO?

O estudo é composto por uma única sessão individual com duração de aproximadamente 40 a 50 minutos. Os participantes farão um questionário, treino e testes no simulador de condução.

QUEM PODE PARTICIPAR NO ESTUDO?

Podem participar indivíduos com carta de condução válida e experiência prática na condução de automóveis. Serão excluídos participantes sem carta.

EXISTEM RISCOS PARA QUEM PARTICIPA NESTE ESTUDO?

Os riscos são mínimos. Pode ocorrer ligeira fadiga ou desconforto por realizar tarefas simultâneas. Serão dadas pausas se necessário e o participante pode desistir a qualquer momento.

EXISTEM BENEFÍCIOS PARA QUEM PARTICIPA NESTE ESTUDO?

Consentimento Informado, Esclarecido e Livre

Os participantes poderão beneficiar de terem uma maior consciência sobre o seu desempenho em tarefas de condução e atenção dividida, o que pode ser útil para a sua segurança e autorreflexão na condução.

EXISTEM CUSTOS PARA QUEM PARTICIPA NESTE ESTUDO?

Não existem custos associados à participação, exceto uma eventual deslocação ao local da realização do estudo, não compensada.

EXISTEM COMPENSAÇÕES PARA QUEM PARTICIPA NESTE ESTUDO?

Não existem compensações financeiras ou materiais pela participação neste estudo. A participação é voluntária e não será oferecida qualquer recompensa.

QUEM TERÁ ACESSO AOS DADOS? COMO SERÁ ASSEGURADA A CONFIDENCIALIDADE E O ANONIMATO? QUANDO SERÃO DESTRUÍDOS OS DADOS?

Os dados recolhidos neste estudo serão tratados de forma confidencial e anónima. Cada participante será identificado apenas por um código e nenhuma informação pessoal será divulgada. Apenas os investigadores responsáveis terão acesso aos dados. Os resultados serão utilizados exclusivamente para fins científicos e académicos. Os dados serão armazenados em ficheiros protegidos por palavra-passe e em dispositivos seguros. Após a conclusão do estudo e análise dos resultados, todos os dados pessoais e codificados serão eliminados de forma definitiva no prazo máximo de 3 meses.

HÁ RETORNO DE RESULTADOS AO PARTICIPANTE?

Os participantes poderão, se assim o desejarem, receber um resumo dos resultados globais do estudo após a sua conclusão. Os resultados individuais não serão divulgados separadamente.

QUAIS SÃO OS DIREITOS DE QUEM PARTICIPA NESTE ESTUDO?

A sua participação é voluntária. É livre de recusar participar ou de interromper a sua participação em qualquer momento. A recusa em participar ou interrupção da participação não terá consequências nem implicará perda de eventuais compensações a que tenha direito. O investigador principal poderá decidir, de forma fundamentada, interromper a sua participação neste estudo. Caso se verifique esta situação, esta não resultará em qualquer perda de eventuais benefícios ou direitos.

QUEM POSSO CONTATAR PARA QUAISQUER DÚVIDAS OU QUESTÕES SOBRE ESTE ESTUDO?

Se tem dúvidas sobre este estudo, poderá fazer agora todas as perguntas. Se quiser fazer perguntas mais tarde, desejar obter mais informações, ou desejar interromper a sua participação no estudo, entre em contato com os Investigadores Principais por telefone ou e-mail. A informação de contato está disponível no início da primeira página deste documento.

Consentimento Informado, Esclarecido e Livre

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Eu, abaixo-assinado, fui informado sobre o propósito e procedimentos deste estudo. Foi-me garantido que todos os dados relativos à identificação dos participantes neste estudo são confidenciais e que será mantido o anonimato. Sei que posso recusar-me a participar ou interromper a qualquer momento a participação no estudo, sem nenhum tipo de penalização por este facto. Compreendi a informação que me foi dada, tive oportunidade de fazer perguntas e as minhas dúvidas foram esclarecidas. Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado. Também autorizo a divulgação dos resultados obtidos no meio científico, desde que seja garantido o anonimato.

ASSINATURA DO PARTICIPANTE

DATA

ASSINATURA DO INVESTIGADOR

DATA

Autorização Opcional

Entendo que os investigadores podem querer usar fotografias ou vídeo por razões ilustrativas nas apresentações e publicações deste trabalho, para fins científicos ou educativos. Eu dou autorização para fazê-lo, desde que seja mantido o anonimato.

Assine no lugar pretendido: _____SIM _____NÃO

Informações Lane Change Test

Bem-vindo!

Este formulário tem como objetivo a recolha de informações sobre
Agradecemos, desde já, a sua cooperação no preenchimento deste formulário.

* Indica uma pergunta obrigatória

Estás prestes a participar num estudo académico desenvolvido na Universidade da Madeira, que tem como objetivo testar uma nova versão do *Lane Change Test* — uma simulação de condução digital utilizada para avaliar a atenção e o desempenho multitarefa.

Este formulário serve para recolher algumas **informações demográficas básicas** (como idade, experiência de condução, etc.) que nos ajudarão a **caracterizar os participantes** do estudo.

- ☒ A tua participação é **totalmente anónima**
- ☒ Os dados serão usados **exclusivamente para fins científicos**

Ao continuares, estás a aceitar participar voluntariamente neste estudo.

Se tiveres alguma dúvida, o investigador responsável está disponível para esclarecer.

Informações Sociodemográficas

Iremos, inicialmente, recolher algumas informações sociodemográficas.
Reiteramos que o uso dos dados fornecidos neste formulário é exclusivamente académico e os mesmos serão anonimizados aquando da análise dos resultados e nunca serão divulgados, alterados ou transmitidos a terceiros.

1. Qual é a sua idade? *

2. Qual é o seu género? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Masculino
- ☐ Feminino
- ☐ Prefiro não dizer
- ☐ Outra:

3. Possui carta de condução válida? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não (não pode participar no estudo)

4. Há quantos anos tem carta de condução?

5. Com que frequência conduz atualmente? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Diariamente
- ☐ Quatro a cinco dias por semana
- ☐ Dois a três dias por semana
- ☐ Um dia por semana
- ☐ Menos de uma vez por semana
- ☐ Raramente

6. Distância média aproximada percorrida no dia (em km): *
- exemplo - entre 10 a 15 km no dia.

7. Nível de escolaridade mais elevado concluído *

Marcar apenas uma oval.

☐ Ensino básico (até 9.º ano)

☐ Ensino secundário

☐ Licenciatura (1.º ciclo)

☐ Mestrado (2.º ciclo)

☐ Doutoramento (3.º ciclo)

☐ Prefiro não responder

☐ Outra:

8. Tem alguma limitação física ou motora que possa afetar a condução ou o uso de computador? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

☐ Prefiro não responder

Obrigado pela participação!!!

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google.

Google Formulários

Referências

- [1] R. Frisoni, A. Dall'Oglio, C. Nelson, J. Long, C. Vollath, D. Ranghetti, and S. McMinimy, “Research for TRAN Committee – Self-piloted cars: The future of road transport?” 2016.
- [2] “ISO 26022:2010(en), Road vehicles — Ergonomic aspects of transport information and control systems — Simulated lane change test to assess in-vehicle secondary task demand,” <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:26022:ed-1:v1:en>, 2010.
- [3] “Evaluating User Response to In-Car Haptic Feedback Touchscreens Using the Lane Change Test - Pitts - 2012 - Advances in Human-Computer Interaction - Wiley Online Library,” <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2012/598739>, 2012.
- [4] A. Riener and H. Thaller, “Subliminal Visual Information to Enhance Driver Awareness and Induce Behavior Change,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, ser. AutomotiveUI '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Sep. 2014, pp. 1–9.
- [5] P. Di Campli San Vito, S. Brewster, F. Pollick, S. White, L. Skrypchuk, and A. Mouzakitis, “Investigation of Thermal Stimuli for Lane Changes,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. Toronto ON Canada: ACM, Sep. 2018, pp. 43–52.
- [6] K. L. Young, A. N. Stephens, K. L. Stephan, and G. Stuart, “An Examination of the Effect of Google Glass on Simulated Lane Keeping Performance,” *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 3184–3191, Jan. 2015.
- [7] S. Will, T. Wehner, T. Hammer, N. Merkel, A. Werle, I. Umlauf, and A. Neukum, “Assessment of data glasses for motorcycle riders in a simulated lane change test,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 89, pp. 467–477, Aug. 2022.
- [8] C. Grane and P. Bengtsson, “Driving performance during visual and haptic menu selection with in-vehicle rotary device,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 18, pp. 123–135, May 2013.

- [9] J. L. Harbluk, J. C. Burns, M. Lochner, and P. L. Trbovich, "Using the Lane-Change Test (LCT) to Assess Distraction: Tests of Visual-Manual and Speech-Based Operation of Navigation System Interfaces," *Driving Assessment Conference*, vol. 4, no. 2007, Jul. 2007.
- [10] P. Burns, P. Trbovich, T. McCurdie, and J. Harbluk, "Measuring Distraction: Task Duration and the Lane-Change Test (LCT)," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 49, pp. 1980–1983, Sep. 2005.
- [11] T. Petzoldt and J. F. Krems, "How does a lower predictability of lane changes affect performance in the Lane Change Task?" *Applied Ergonomics*, vol. 45, no. 4, pp. 1218–1224, Jul. 2014.
- [12] S. Benedetto, M. Pedrotti, R. Brémond, and T. Baccino, "Leftward attentional bias in a simulated driving task," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 20, pp. 147–153, Sep. 2013.
- [13] J. Engström and G. Markkula, "Effects of Visual and Cognitive Distraction on Lane Change Test Performance," in *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle*. Stevenson, Washington, USA: University of Iowa, 2007, pp. 199–205.
- [14] T. Heine, G. Lenis, P. Reichensperger, T. Beran, O. Doessel, and B. Deml, "Electrocardiographic features for the measurement of drivers' mental workload," *Applied Ergonomics*, vol. 61, pp. 31–43, May 2017.
- [15] D. Rodrick, V. Bhise, and V. Jothi, "Effects of Driver and Secondary Task Characteristics on Lane Change Test Performance," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, vol. 23, pp. n/a–n/a, Nov. 2013.
- [16] J. Lowrie and H. Brownlow, "The impact of sleep deprivation and alcohol on driving: A comparative study," *BMC Public Health*, vol. 20, no. 1, p. 980, Jun. 2020.
- [17] A. K. Huemer and M. Vollrath, "Alcohol-related impairment in the Lane Change Task," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 6, pp. 1983–1988, Nov. 2010.

- [18] T. Petzoldt, N. Bär, and J. F. Krems, “Gender Effects on Lane Change Test (LCT) Performance,” in *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design : Driving Assessment 2009*. Big Sky, Montana, USA>: University of Iowa, 2009, pp. 90–96.
- [19] W. G. Mamo, W. K. M. Alhajyaseen, K. Brijs, H. Dirix, G. Vanroelen, Q. Hussain, T. Brijs, and V. Ross, “The impact of cognitive load on a lane change task (LCT) among male autistic individuals: A driving simulator study,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 106, pp. 27–43, Oct. 2024.
- [20] H. A. Hayes, N. Hu, X. Wang, S. Gibson, P. Mathy, K. Berggren, and M. Bromberg, “Comparison of driving capacity among patients with amyotrophic lateral sclerosis and healthy controls using the lane change task,” *Journal of the Neurological Sciences*, vol. 413, p. 116741, Jun. 2020.
- [21] “Simulated driving performance in abstinent heroin misusers: A comparative control study | Current Psychology,” <https://link.springer.com/article/10.1007/s12144-023-04462-y>, 2023.
- [22] “Distraction while driving: The case of older drivers (sciencedirectassets.com),” <https://www.google.com/search?q=Distraction+while+driving>
- [23] T. Petzoldt, N. Bär, C. Ihle, and J. Krems, “Learning effects in the lane change task (LCT)—Evidence from two experimental studies,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 14, pp. 1–12, Jan. 2011.
- [24] T. Petzoldt, S. Brüggemann, and J. F. Krems, “Learning effects in the lane change task (LCT) – Realistic secondary tasks and transfer of learning,” *Applied Ergonomics*, vol. 45, no. 3, pp. 639–646, May 2014.
- [25] A. K. Huemer and M. Vollrath, “Learning the Lane Change Task: Comparing different training regimes in semi-paced and continuous secondary tasks,” *Applied Ergonomics*, vol. 43, no. 5, pp. 940–947, Sep. 2012.
- [26] P. O. H. Boniface, H. Teigland, I. B. Saksvik, and V. Hassani, “A High-Fidelity Unity Simulator for ROV Pilot Training,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 20, pp. 481–486, Jan. 2024.

- [27] B. Sokół, “Simulating employee evacuation with Unity,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 59, no. 24, pp. 476–480, Jan. 2025.
- [28] “Diferentes tipos de formatos de arquivo 3D – Adobe,” <https://www.adobe.com/pt/products/substance3d/discover/3d-files-formats.html>.
- [29] “Arquivos COLLADA explicados e como usá-los | Adobe,” <https://www.adobe.com/pt/creativecloud/file-types/image/vector/collada-file.html>.
- [30] “Saiba mais sobre os arquivos DXF | Adobe,” <https://www.adobe.com/pt/creativecloud/file-types/image/vector/dxf-file.html>.
- [31] “Entity Component System concepts | Entities | 1.2.2-pre.1,” <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.entities@1.2/manual/concepts-intro.html>.
- [32] U. Technologies, “Unity - Manual: Introduction to scenes,” <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/CreatingScenes.html>.
- [33] —, “Unity - Manual: Built-in 3D physics,” <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/PhysicsOverview.html>.
- [34] —, “Unity - Manual: Using the Built-In Render Pipeline,” <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/built-in-render-pipeline.html>.
- [35] “High Definition Render Pipeline overview | High Definition RP | 16.0.6,” <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@16.0/manual/index.html>.
- [36] “Requirements for Visual Studio Code,” <https://code.visualstudio.com/docs/supporting/requirements>.
- [37] “Visual Studio Code,” *Wikipedia*, Feb. 2026.
- [38] “Sketchfab,” <https://sketchfab.com/3d-models/japanese-bus-nagoya-city-bus-aichi-37c0a04a7aef4139b6aa037d17e768e5>, Jul. 2021.
- [39] “Sketchfab,” <https://sketchfab.com/3d-models/scania-s730-2-axle-2016-891ee120d3734b439a9a5e63eaa10a4c>, Jan. 2024.

- [40] U. Technologies, “Unity - Manual: Legacy Input,” <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/InputLegacy.html>.
- [41] “Input System | Input System | 1.17.0,” <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.inputsystem@1.17/manual/index.html>.