



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Sistema de Simulação para Condução Rodoviária

Influências na condução e segurança

Heike Helene Cardoso Waap

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Informática e de Computadores

Júri:

Presidente: Professor Doutor Joaquim Armando Pires Jorge

Orientador: Professor Doutor João Manuel Brisson Lopes

Vogal: Doutora Carla Alexandra Monteiro da Silva

Novembro de 2008

Agradecimentos

Antes de mais nada, gostava de agradecer a todos que me ajudaram a concluir este trabalho, especialmente ao meu professor orientador João Brisson Lopes, por ter aceitado orientar-me neste trabalho desde o início; pela orientação durante toda a evolução do trabalho, o esclarecimento de dúvidas, as revisões ao trabalho, a disponibilização de algum material necessário para o simulador de condução e a motivação que me deu para a conclusão da dissertação.

Também gostaria de agradecer ao professor co-orientador João Madeiras Pereira pela sua assistência durante todo o trabalho e a permissão para usar o laboratório onde desenvolvi grande parte do trabalho e onde foram realizados os testes de usabilidade.

Gostava ainda de dedicar algumas palavras de apreço à minha mãe, por todo o apoio moral e financeiro que me deu para as deslocações ao IST efectuadas até à conclusão.

Por fim, gostava ainda de agradecer ao meu namorado, pelo apoio e paciência que teve comigo, e também aos meus amigos, pelo apoio moral, disponibilidade e convívio, em especial ao Mário, pela sua ajuda e conhecimento sobre o tema deste trabalho, e ao João pela assistência e companheirismo de trabalho. Ainda um obrigada muito especial a todos os utilizadores que se disponibilizaram a participar nos testes de usabilidade.

Resumo

O desenvolvimento de sistemas avançados na indústria automóvel requer uma evolução cuidadosa, não apenas do bom funcionamento da tecnologia, mas também da aceitação e adaptação dos utilizadores.

Este trabalho está focado em testar a usabilidade e segurança de interfaces de sistemas de segurança e de assistência no interior de um veículo e, o estudo da sua influência no comportamento e desempenho de condução do utilizador.

Para este propósito foram desenvolvidos e integrados sistemas de segurança e de assistência no simulador em [Por06] e, que simulam as tecnologias dos sistemas: *Night Vision*, *Head-Up Display*, *Park Assist*, *Park Assistance* e Detecção de aproximação, actualmente disponíveis no mercado pelos respectivos fabricantes automóveis BMW, Volkswagen e Mercedes.

O estudo baseou-se na realização de testes de usabilidade aos sistemas integrados no simulador de condução, onde se analisou o comportamento e desempenho do condutor dadas certas tarefas de interacção com os sistemas enquanto conduzia. O estudo também analisa a eficiência das funcionalidades de assistência dos sistemas e o benefício da sua utilização para o condutor.

Palavras-chave: sistemas de segurança e de assistência, simulador de condução, segurança rodoviária, interfaces centradas nas pessoas.

Abstract

Development of advanced driver security and assistance systems requires careful and thorough evaluation of not only in getting the technology to work, but also user acceptance and adaptation.

This work focuses on the usability and security of security and driver assistance system interfaces and, the study of their influence in driving behaviour and performance in interacting with the system's interfaces while driving.

For this purpose, security and assistance systems were developed and integrated in the driving simulator [Por06], that simulates the technology provided by actual available systems in the automobile market by BMW, Volkswagen and Mercedes. The simulated systems are Night Vision, Head-Up Display, Park Assist, Park Assistance and Approximation Detection.

The study performed was based on the conduction of usability tests for the integrated systems in the driving simulator, where the driving behaviour and performance of the driver were analyzed given certain tasks for interaction with the system's interface while driving. The study also analyzed the effectiveness of the system's assistance functionalities and the benefit of their use for the driver.

Keywords: security and driver assistance systems, driving simulator, road safety, human-centered interfaces.

Índice

Lista de tabelas e figuras	6
Lista de abreviações	8
1. Introdução	9
1.1. Motivação	10
1.2. Objectivos	11
1.3. Estrutura do documento	11
2. Sistemas de segurança activa e de assistência em veículos	13
2.1. A necessidade de sistemas de segurança em veículos	13
2.2. Alguns sistemas em produção	13
2.2.1. PRE-SAFE	13
2.2.2. Brake-Assist PLUS (BAS)	14
2.2.3. Blind Spot Information System	14
2.2.4. City-Safety	16
2.2.5. Adaptive Cruise Control	17
2.2.6. Sistema de luz direccionada adaptativa	18
2.2.7. Visor Head-Up	19
2.2.8. Night Vision	20
2.2.9. Assistente de faróis máximos	22
2.2.10. Sistema de assistência ao estacionamento	23
2.2.11. Park Assist	24
3. Usabilidade das interfaces	26
3.1. Distracção do condutor	26
3.2. Erros humanos	27
3.3. Sistemas de transporte inteligentes e usabilidade de interfaces no interior do veículo	28
3.4. Categorização dos utilizadores	29
4. Simuladores para testar a usabilidade	31
4.1. Aplicação de simuladores para análise de aspectos de segurança rodoviária	31
4.2. O simulador utilizado neste trabalho	33
4.2.1. Cenário visual	36
5. Sistemas de segurança e de assistência desenvolvidos	38
5.1. Sistema de visão nocturna	38
5.1.1. Simulação da tecnologia em trabalhos relacionados	39

5.1.2.	Simulação da tecnologia	40
5.2.	Sistema de Head-Up Display.....	41
5.2.1.	Simulação da tecnologia	42
5.3.	Sensores de detecção de aproximação	43
5.4.	Sistemas de estacionamento	43
5.4.1.	Sistema de estacionamento automático	45
5.4.2.	Sistema de assistência ao estacionamento.....	46
5.4.3.	Simulação da tecnologia em trabalhos relacionados.....	47
5.4.3.1.	SEVA3D	48
5.4.4.	Simulação da tecnologia	49
5.4.4.1.	Modelo Sensorial	49
5.4.4.2.	Modelo cinemático	50
5.4.4.3.	Controlo do veículo.....	53
6.	Configuração e protocolo experimental	57
6.1.	Configuração	57
6.1.1.	Características dos percursos	57
6.2.	Protocolo	58
6.2.1.	Participantes	58
6.2.2.	Papéis	58
6.2.3.	Procedimento	59
6.2.4.	Tarefas para os vários sistemas	59
6.2.5.	Critérios de Usabilidade.....	60
6.2.6.	Métricas de desempenho	62
7.	Resultados e análise	64
7.1.	População de amostra	64
7.2.	Comportamento do condutor	64
7.2.1.	Erros e desempenho na conclusão das tarefas	65
7.3.	Análise à opinião subjectiva dos utilizadores	68
7.3.1.	Sistema de visão nocturna	68
7.3.2.	Head-Up Display	69
7.3.3.	Sistema de estacionamento automático	70
7.3.4.	Sistema de assistência ao estacionamento.....	72
7.3.5.	Sistema de detecção de aproximação	73
8.	Conclusões	75

8.1. Possíveis melhorias futuras	76
Bibliografia	78
Anexo A. Simulação de Imagens Infravermelhas	82
A.1. Geração de imagens infravermelhas	82
A.2. Transferência de calor no interior de um corpo	83
A.3. Difusão térmica na superfície	83
A.4. Geração de imagens térmicas baseada na variação da temperatura de superfície de um objecto	84
Anexo B. Ficha técnica do FIAT 500	86
Anexo C. Inquérito para os testes de usabilidade	89
Anexo D. Percursos definidos para os testes de usabilidade aos sistemas	93
Anexo E. Formulário do Examinador	94

Lista de tabelas e figuras

FIGURA 2.1: O SISTEMA PRE-SAFE RECONHECE SITUAÇÕES DE RISCO ATRAVÉS DE SENSORES E POSICIONA OS PASSAGEIROS AUTOMATICAMENTE PARA A POSIÇÃO MAIS SEGURA ANTES DO ACIDENTE.	14
FIGURA 2.2: O SISTEMA DE INFORMAÇÃO BLIND SPOT VIGIA O ÂNGULO MORTO NUMA ÁREA DE NOVE METROS E MEIO DE COMPRIMENTO E TRÊS METROS DE LARGURA.....	16
FIGURA 2.3: VOLVO CITY-SAFETY-SYSTEM: EVITA EMBATES ENTRE VEÍCULOS ATRAVÉS DE SENSORES.	17
FIGURA 2.4: O SISTEMA ACC MANTÉM UMA DISTÂNCIA DE SEGURANÇA AO VEÍCULO DA FRENTE CONFORME A VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA E A DIFERENÇA DE TEMPO MÍNIMA INTRODUZIDAS PELO CONDUTOR NO SISTEMA.	18
FIGURA 2.5: O SISTEMA DE LUZ DIRECCIONAL ADAPTATIVA CALCULA O PERCURSO, UTILIZANDO OS DADOS DE VELOCIDADE E DE ÂNGULO DE RODAGEM DO VEÍCULO.	19
FIGURA 2.6: A FIGURA APRESENTA O SISTEMA <i>HEAD-UP DISPLAY</i> , ONDE ESTÁ PROJECTADA NO PÁRA-BRISAS INFORMAÇÃO.	20
FIGURA 2.7: SISTEMA <i>NIGHT VISION</i> . A IMAGEM É REPRESENTADA COM UM CONTRASTE DE PRETO E BRANCO NO MONITOR.	22
FIGURA 2.8: COM A AJUDA DE SENSORES O NOVO SISTEMA DE ESTACIONAMENTO DA MERCEDES RECONHECE UM ESPAÇO DE ESTACIONAMENTO ADEQUADO.	24
FIGURA 2.9: ASSIM QUE O SISTEMA DETECTAR UM ESPAÇO DE ESTACIONAMENTO POTENCIALMENTE ADEQUADO, TAL É SINALIZADO OPTICAMENTE. QUANDO O VEÍCULO SE ENCONTRAR NA POSIÇÃO IDEAL PERANTE ESSE ESPAÇO, É SINALIZADO COM UMA SETA E O CONDUTOR PODE INICIAR A MANOBRA.....	25
4.1: SIMULADOR DE CONDUÇÃO UTILIZADO NESTE TRABALHO	34
FIGURA 4.2: UM EXEMPLO DE VISTA DO SIMULADOR ORIGINAL (ESQUERDA) E DO SIMULADOR ALTERADO (DIREITA)	35
FIGURA 4.3: ESQUEMA SIMPLIFICADO DO CENÁRIO URBANO.....	36
FIGURA 4.4: CENÁRIO VISUAL DO MEIO URBANO NO SIMULADOR DE CONDUÇÃO MODIFICADO.	37
FIGURA 5.1: INTERFACE DO NIGHT VISION	38
FIGURA 5.2: INTERFACE DO SISTEMA DE VISÃO NOCTURNA INTEGRADA NO SIMULADOR.....	39
FIGURA 5.3: INTERFACE DO <i>HEAD-UP DISPLAY</i> DA BMW.....	42
FIGURA 5.4: INTERFACE DO <i>HEAD-UP DISPLAY</i> NO SIMULADOR DE CONDUÇÃO	42
FIGURA 5.5: SISTEMAS DE <i>Park Assist</i> (EM CIMA) E DE ASSISTÊNCIA AO ESTACIONAMENTO (EM BAIXO).....	44
FIGURA 5.6: PROCESSO DE ESTACIONAMENTO PARALELO COM O SISTEMA DE ESTACIONAMENTO AUTOMÁTICO NO SIMULADOR	46
FIGURA 5.7: PROCESSO DE ESTACIONAMENTO PARALELO COM O SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO ESTACIONAMENTO NO SIMULADOR....	47
FIGURA 5.8: REPRESENTAÇÃO DO MODELO SENSORIAL E DO LIMITE DE DETECÇÃO VÁLIDO (A LARANJA) PARA AS VAGAS DE ESTACIONAMENTO PARALELAS AO PASSEIO.	50
FIGURA 5.9: MODELO CINEMÁTICO E GEOMETRIA DE <i>ACKERMANN</i>	51
FIGURA 5.10: ESTADOS DO AUTÓMATO PARA O CONTROLO DO VEÍCULO NO SISTEMA DE ESTACIONAMENTO.	54
FIGURA 5.11: LIMITE DA TRAJECTÓRIA DE ESTACIONAMENTO BASEADO NA DISTÂNCIA PARALELAMENTE AO LUGAR DE ESTACIONAMENTO.....	55
6.1: ESTRUTURA DE USABILIDADE DA ISO (ISO 1998).....	60
6.2: MODELO DE NIELSEN DA ACEITABILIDADE E USABILIDADE COMO ATRIBUTOS DE UM SISTEMA	61
FIGURA 7.1: DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO POR GÉNERO E GRUPO DE IDADE	64
7.2: NÚMERO DE ERROS COMETIDOS PELOS UTILIZADORES NAS TAREFAS COM E SEM INTERACÇÃO COM OS SISTEMAS.....	65
7.3: ERROS NAS TAREFAS SEM A INTERACÇÃO COM OS SISTEMAS DE SEGURANÇA E DE ASSISTÊNCIA	66
7.4: ERROS NAS TAREFAS COM A INTERACÇÃO DOS SISTEMAS DE SEGURANÇA E DE ASSISTÊNCIA	67
7.5: NÍVEIS DE SEGURANÇA E FACILIDADE DE APRENDIZAGEM PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE VISÃO NOCTURNA.....	68
7.6: NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E DISTRACÇÃO PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE VISÃO NOCTURNA	69
7.7: NÍVEIS DE SEGURANÇA E FACILIDADE DE APRENDIZAGEM PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE <i>HEAD-UP DISPLAY</i>	69

7.8: NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E DISTRACÇÃO PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE <i>HEAD-UP DISPLAY</i>	70
7.9: FACILIDADE DE APRENDIZAGEM E NÍVEL DE ASSISTÊNCIA PERCEBIDOS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE ESTACIONAMENTO AUTOMÁTICO	71
7.10: NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E DISTRACÇÃO PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE ESTACIONAMENTO AUTOMÁTICO	71
7.11: FACILIDADE DE APRENDIZAGEM E NÍVEL DE ASSISTÊNCIA PERCEBIDOS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO ESTACIONAMENTO.....	72
7.12: NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E DISTRACÇÃO PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO ESTACIONAMENTO.....	73
7.13: FACILIDADE DE APRENDIZAGEM E NÍVEL DE ASSISTÊNCIA PARA A TAREFA DE ESTACIONAMENTO PERCEBIDOS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE DETECÇÃO DE APROXIMAÇÃO	74
7.14: NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E DISTRACÇÃO PERCEBIDAS PELOS UTILIZADORES NA INTERACÇÃO COM O SISTEMA DE DETECÇÃO DE APROXIMAÇÃO.....	74
 TABELA 5.1: DIMENSÕES CONSIDERADAS NESTE TRABALHO PARA O VEÍCULO E O MÍNIMO DE PARA UM LUGAR DE ESTACIONAMENTO VÁLIDA PARA EFECTUAR UMA MANOBRA DE ESTACIONAMENTO DO VEÍCULO.	50
TABELA 5.2: EXCERTO DA FICHA TÉCNICA DE UM <i>FIAT 500 1.3 MULTIJET 16 V</i>	53
TABELA 5.3: VALORES CALCULADOS PARA OS ÂNGULOS MÁXIMOS E RAIO DE DIRECÇÃO DO VEÍCULO SIMULADO BASEADO NOS DADOS DA TABELA 5.2	53

Lista de abreviações

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ABS	Anti-lock Braking System
ACC	Adaptive Cruise Control
API	Application Programming Interface
BAS	Brake Assist
BLIS	Blind Spot Information System
ESP	Electronic Stability Program / Electronic Skid Prevention
GPS	Global Positioning System
IST	Instituto Superior Técnico
SCC	Safety Concept Car
SEVA	Simulador de Estacionamento de Veículos Autónomos
SEVA3D	Simulador de Estacionamento de Veículos Autónomos num ambiente tridimensional
TFT	Thin-film transistor

1. Introdução

A segurança rodoviária é um dos principais problemas de hoje em dia. O aumento progressivo de novos carros a circular mundialmente nas estradas, e a necessidade de uma interacção segura destes é uma preocupação constante para o governo, indústria automóvel e a sociedade em geral.

Os erros cometidos durante a condução contribuem significativamente para o número de acidentes rodoviários registados. Conseguir reduzir a percentagem da ocorrência dos erros de condução pode ser uma grande vitória, significando uma diminuição no número de acidentes, mortes, ferimentos e danos materiais na estrada.

A obtenção de um aumento de segurança rodoviária é uma das principais prioridades na indústria automóvel. Para atingir esse objectivo estas apostam cada vez mais no desenvolvimento de sistemas inovadores baseados em novas tecnologias para a diminuição de erros.

Os veículos actualmente no mercado automóvel vêm equipados com uma grande diversidade de sistemas avançados, quer de conforto, para o entretenimento do condutor durante sua a condução, quer de segurança e de assistência para evitar situações de condução perigosas ou facilitarem a condução. No entanto, estes dispositivos têm o potencial de contribuir para a distracção do condutor na medida em que requerem um certo nível de atenção do condutor para este poder beneficiar das funcionalidades dos sistemas, requerendo recursos cognitivos, visuais, auditivos e físicos da tarefa principal de condução. À medida que estes sistemas se tornam mais prolíferos no mercado, o número possível de dispositivos a poder operar com o veículo aumenta e, consequentemente o número de dispositivos ao qual o condutor foca a sua atenção e capacidades cognitivas aumenta.

Dado este problema, o processo de desenvolvimento de sistemas de informação e de controlo para o interior do veículo tem vindo a focar-se não apenas no bom funcionamento da tecnologia, mas também na interacção com o utilizador e as suas reais necessidades. As indústrias automóveis têm vindo integrar em todo o processo de produção dos seus sistemas, um esforço significativo de investigação e consideração de questões relacionadas com o desempenho e comportamento do condutor durante o processo de condução e a interacção simultânea com as interfaces dos sistemas.

Para que os sistemas de segurança e de assistência ao condutor possam ser efectivamente eficazes nas suas funcionalidades, necessitam de apresentar um elevado nível de usabilidade. O desenho da interface é uma área chave emergente, tendo um impacto significativo na usabilidade global e segurança dos sistemas.

1.1. Motivação

A indústria automóvel encontra-se numa era de desenvolvimento tecnológico e inovação. Esta integra um esforço contínuo na investigação e desenvolvimento de novas soluções de sistemas que exibem compromissos entre inovação tecnológica, interfaces de dispositivos centrados no utilizador humano, responsabilidade ambiental, e a comercialização de novos produtos atractivos para o mercado com elevados níveis de qualidade e segurança.

Actualmente uma das principais prioridades na indústria automóvel relaciona-se com melhorias na segurança do veículo, tendo os sistemas de segurança, tanto passivos como activos, vindo a ser desenvolvidos durante a última década para o aumento da segurança global na tarefa de condução [ATPC08].

Este trabalho é motivado na geração de um aumento de segurança na condução rodoviária baseado em sistemas de segurança activa e de assistência ao condutor

Estes sistemas integrados permitem adicionar inteligência aos veículos na medida em que capturam informação do ambiente exterior, processando-a e convertendo-a numa resposta de saída.

Esta resposta de saída varia de acordo com as funcionalidades específicas dos sistemas de segurança e de assistência em questão, e é reflectida geralmente sob forma de aviso, que é transmitida ao condutor, ou através da interacção autónoma no sistema na condução.

Actualmente o mercado automóvel disponibiliza uma grande variedade de sistemas de segurança, assistência e de conforto no seu equipamento opcional que diferem na sua função, modo de controlo e na sua resposta de saída.

Os sistemas considerados neste trabalho têm um papel fundamental na procura e obtenção de uma condução rodoviária mais segura, conseguindo prever antecipadamente situações perigosas, avisando o condutor da situação eminente e, podendo até interferir autonomamente na condução.

Os sinais de resposta dos sistemas aos estímulos exteriores que são apreendidos pelo condutor como aviso de uma situação de perigo, diminui o seu tempo de reacção face à situação percebida. Desta forma é possível evitar acidentes ou reduzir consequências mais graves de colisão.

Considerou-se em especial a motivação deste trabalho proveniente do canal de comunicação entre os sistemas e o condutor do veículo, nomeadamente a interface o seu desenho e usabilidade. Focaram-se sistemas de segurança e de assistência cuja resposta de saída é comunicada ao utilizador através da sua interface sob forma de sinais sonoros e visuais. As interfaces visuais dos sistemas actuais comercializados no mercado automóvel seguem princípios de desenho centrados no

humano. Procuram minimizar a distração do condutor no seu controlo e facilitar a leitura de informação durante a tarefa primária de condução segura, face a sistemas tradicionais.

1.2. Objectivos

O objectivo deste trabalho consiste no desenvolvimento e simulação de sistemas de segurança activa e de assistência ao condutor, baseados em tecnologias de sistemas actuais comercializados por fabricantes automóveis, tais como a Mercedes, Volvo e BMW e a sua integração no simulador de condução desenvolvido em [Por06].

Os sistemas a simular são nomeadamente os sistemas de:

- Visão nocturna
- *Head-Up Display*
- Sensores de detecção de aproximação
- Estacionamento automático
- Assistência ao estacionamento.

Estes sistemas têm como principal funcionalidade a de assistir o condutor durante a tarefa de condução, detectando, agindo ou impedindo automaticamente potenciais situações de risco.

No entanto, para que estes sistemas possam ser efectivamente eficazes necessitam de apresentar um elevado nível de usabilidade, cujo teste é objectivo deste trabalho testar.

Pretende-se utilizar o simulador de condução como ferramenta de estudo para a análise de usabilidade e a segurança e assistência fornecida pelos sistemas desenvolvidos. Para tal efeito, procede-se à observação do comportamento e desempenho de vários utilizadores dadas as tarefas simultâneas de condução do veículo num cenário visual urbano e a interacção específica com as interfaces dos sistemas no simulador. Também para a medição do grau de eficiência e usabilidade dos sistemas desenvolvidos pretende-se comparar o desempenho do condutor ao efectuar tarefas idênticas com e sem a assistência dos sistemas, como por exemplo, efectuar um estacionamento traseiro paralelo com e sem a assistência do sistema de estacionamento. O estudo pretende determinar a influência de tais tarefas no comportamento do condutor e identificar problemas de usabilidade.

1.3. Estrutura do documento

Este documento começa com uma breve introdução ao assunto, apresentando no capítulo 1, *Introdução*, alguns conceitos fundamentais e uma breve descrição do contexto. O capítulo 2,

Sistemas de segurança activa e de assistência em veículos, apresenta as ideias atrás deste trabalho. O capítulo 3, *Usabilidade das interfaces*, discute a usabilidade de interfaces no interior do veículo, especialmente para sistemas de segurança e de assistência ao condutor e refere a categorização de utilizadores no contexto de um estudo de usabilidade para interfaces. O capítulo 4, *Simuladores para testar a usabilidade*, descreve as vantagens e desvantagens da utilização de simuladores de condução como ferramenta de estudo para a usabilidade, assim como o simulador utilizado e alterado para a integração de sistemas de segurança e de assistência cujo desenvolvimento foi baseado em tecnologias deste tipo de sistemas actualmente em produção no mercado automóvel. No capítulo 5, *Sistemas de segurança e de assistência desenvolvidos*, são apresentados os sistemas de segurança e de assistência desenvolvidos e integrados no simulador de condução, assim como as abordagens seguidas para simulação da tecnologia. O capítulo 6, *Configuração e protocolo*, descreve a experiência conduzida neste trabalho, detalhando o procedimento, o equipamento e os dados recolhidos, os quais são analisados no capítulo 7, *Resultados e análise*. Por fim, o capítulo 8, *Conclusões*, resume os resultados principais obtidos e sugere algumas hipóteses de trabalhos futuros nesta área.

2. Sistemas de segurança activa e de assistência em veículos

2.1. A necessidade de sistemas de segurança em veículos

Os sistemas tais como cintos de segurança e *Airbags* são sistemas de segurança passivos que apenas activam as suas funcionalidades de segurança durante ou após algum sinistro. Opostamente aos sistemas anteriores, os sistemas de segurança activa permitem a detecção antecipada de situações de risco, procurando prevenir os mesmos. Hoje em dia a utilização de sistemas de segurança activos como adição aos sistemas de segurança passivos, pode reduzir uma grande percentagem de acidentes rodoviários. Face aos avanços tecnológicos nesta área, os veículos de transporte dotados destes sistemas beneficiam da adição de inteligência através de capacidades cognitivas do ambiente exterior de condução e do processamento desse conhecimento para assistir o condutor. O objectivo destes sistemas é de auxiliar o condutor na percepção do ambiente exterior de condução, informando o condutor através da sua interface de alguma potencial situação de perigo percebida ou em alguns casos até interagir autonomamente na condução de forma a evitar ou diminuir a situação de perigo. A percepção antecipada do sistema de situações perigosas permitida por estes sistemas, permite alargar o tempo de manobra do condutor para reagir adequadamente à situação percebida podendo este evitar uma possível colisão.

2.2. Alguns sistemas em produção

Nesta secção é apresentada o estado de desenvolvimento de alguns sistemas de segurança activa e de assistência ao condutor, baseados em novas tecnologias disponibilizadas pelos fabricantes automóveis Mercedes, BMW, Volvo e Volkswagen.

A maior parte das aplicações descritas estão disponíveis como equipamento opcional em vários modelos de diferentes fabricantes automóveis, sendo aqui apenas referido detalhadamente a aplicação de um deles. Apesar de o mesmo sistema poder variar de fabricante para fabricante, todos eles seguem a mesma linha base de funcionamento da aplicação em questão.

2.2.1. PRE-SAFE

A Mercedes introduziu um novo sistema de segurança activa, o sistema *PRE-SAFE*, ao qual foram atribuídos vários prémios internacionais.

O *PRE-SAFE* fez estreia mundial entrando em produção de série para o modelo Classe S em 2002, e encontra-se actualmente disponível também no equipamento de série das limusinas da Classe E.

Para além do sistema *PRE-SAFE*, a Classe S da Mercedes introduziu o sistema de assistência de travagem optimizado, o *Brake Assist PLUS (BAS)*, que é combinado com o *PRE-SAFE* para aumentar a segurança dos ocupantes.

Este sistema tem a capacidade de detectar antecipadamente a eventualidade de um acidente, reagindo antes da ocorrência de uma colisão iminente, activando medidas de protecção para o condutor e acompanhante. Em função disso, os cintos de segurança e os Airbags oferecem protecção máxima em caso de embate. Nenhum outro modelo topo de gama de outras marcas oferece este sistema de protecção antecipada [Mercedes], [AutoWe07].

O sistema detecta antecipadamente uma potencial situação de acidente quando a desaceleração de travagem ultrapassa um determinado nível ou em caso de perigo de derrapagem. Os sensores do ESP, ou do assistente de travagem reagem em função disso, comprimindo os cintos de segurança dianteiros como precaução e enchendo as câmaras de ar dos bancos multi-contorno, que envolvem os ocupantes dos assentos dianteiros e traseiros [AutoBild]. A imagem 2.1 apresenta uma imagem do procedimento de segurança descrito.



Figura 2.1: O sistema *PRE-SAFE* reconhece situações de risco através de sensores e posiciona os passageiros automaticamente para a posição mais segura antes do acidente.

2.2.2. Brake-Assist PLUS (BAS)

O *Brake Assist PLUS (BAS)*, é um sistema de assistência optimizado à travagem que detecta, via radar, os veículos que circulam à frente, alertando no caso de redução da distância ou aproximação demasiado rápida ao veículo dianteiro. Na iminência de uma colisão, o sistema *Brake Assist PLUS* calcula, numa fracção de segundo, a força ideal de travagem, disponibilizando-a de imediato, mesmo se o condutor não carregar no pedal do travão com a força necessária. Deste modo, reduz-se consideravelmente o número de colisões na traseira do veículo da frente [ABC].

2.2.3. Blind Spot Information System

Uma das causas mais frequentes dos acidentes é a manobra de mudança de faixa, devido ao ângulo morto, apesar de janelas de grande dimensão e espelhos. De forma a aumentar a segurança em tais

situações, a Volvo introduziu em 1979 (como primeiro fabricante) no equipamento dos seus automóveis, espelhos laterais e retrovisores com uma maior área de captura do ângulo morto. Mediante a evolução da tecnologia, face ao problema do ângulo morto, a Volvo desenvolveu um sistema monitorização por câmaras, o *Blind Spot Information System (BLIS)*, que vigia a área do ângulo morto.

Esta tecnologia foi apresentada em 2001 no Volvo “*Safety Concept Car*” (SCC) no salão automóvel de Genebra e na exposição automóvel em Frankfurt. Este sistema inovador visa terminar definitivamente com o problema do ângulo morto, contribuindo para um aumento de segurança durante a condução. Actualmente o sistema *BLIS* encontra-se disponível nos modelos S60, V70, XC70, S80 e XC90 da Volvo [NRMA].

A tecnologia empregue consiste em duas câmaras digitais instaladas em cada espelho exterior. Estas capturam com uma frequência de vinte e cinco imagens por segundo uma área de três metros de largura e nove metros e meio de fundo de ambos os lados do veículo. Ao comparar as várias imagens, o sistema consegue detectar quando um veículo entra na área vigiada.

Assim que um veículo entrar nessa área, é accionada uma luz de aviso de cor amarela, na parte inferior do espelho exterior respectivo (figura 2.2). Desta forma o condutor é explicitamente avisado de que um outro veículo se encontra lateralmente muito próximo dele. O sistema fornece informações acerca de veículos que se aproximam pela traseira, assim como de veículos que circulam à sua frente, a serem ultrapassados por este. Esta informação visual permite ao condutor ter uma melhor percepção da situação, podendo decidir correctamente como agir em situações de maior risco, contribuindo assim para a diminuição de colisões na mudança de faixa devido ao ângulo morto. Ambos os lados são igualmente vigiados.

O sistema está programado de forma a identificar carros, assim como motos. O sistema trabalha na área de frequência dos infravermelhos (76 GHz), sendo assim independente das condições de luz, e podendo ser utilizado tanto de dia como de noite. Também está concebido de forma a não reagir face a veículos estacionados, postes ou qualquer outro objecto estático. Dado que o *BLIS* é baseado em câmaras, tem as mesmas limitações que o olho humano. Isto significa que o sistema não funciona em condições de má visibilidade como nevoeiro e neve [Gizmag]. Se estas condições atmosféricas surgirem, o sistema é desactivado automaticamente e o condutor recebe a mensagem no *Display* do computador de bordo, de que o sistema não se encontra activo. O sistema desactiva-se porque o nevoeiro e a neve seriam detectados como corpos sólidos devido à sua espessura.

O sistema está activo a velocidades acima dos 10 km/h e avisa o condutor de veículos que são no máximo 20 km/h mais lentos e no máximo 70km/h mais rápidos do que o veículo conduzido [NRMA].



Figura 2.2: O Sistema de Informação Blind Spot vigia o ângulo morto numa área de nove metros e meio de comprimento e três metros de largura.

2.2.4. City-Safety

Este sistema tem como base terminar de forma electrónica com os acidentes dentro da cidade, ou no trânsito que, geralmente acontecem a velocidades compreendidas até aos 30 km/h. A Volvo desenvolveu o sistema “*City-Safety*” para evitar este tipo de acidentes, e encontra-se actualmente disponível no equipamento do novo Volvo XC60. Neste sistema, um sensor vigia o veículo dianteiro, e caso necessário trava automaticamente.

O sensor deste sistema tem um alcance de detecção ao veículo dianteiro de cerca de seis metros (figura 2.3). Se for detectado por um algoritmo actualizado cinquenta vezes por segundo um veículo dentro da área de vigilância dos seis metros sem movimento, ou que circule mais devagar no mesmo sentido, é reforçada automaticamente a travagem e é avisado o condutor do perigo. Caso já não seja possível evitar a colisão, o sistema trava autonomamente para reduzir as consequências do embate.

Para além da limitação do alcance de detecção de seis metros, o sistema “*City Safety*” só funciona até uma velocidade máxima de 30 km/h.

Caso a diferença de velocidades entre ambos os veículos seja inferior a 15 km/h, o acidente pode ser em geral evitado com ajuda deste sistema. Mas se for entre 15 e 30 km/h, apenas permite uma redução da velocidade de embate, minimizando os danos.

O “*City Safety*” não é a primeira travagem autónoma desenvolvida na indústria automóvel. A Honda tem um sistema semelhante que funciona para velocidades superiores às da Volvo, e na Mercedes existe o sistema PRE-SAFE anteriormente descrito, que reage automaticamente com travagem, quando o condutor demora a reagir ou nem sequer reage. Este sistema da Mercedes tem, no entanto, uma maior capacidade de percepção mesmo a distâncias e velocidades mais elevadas. O sistema fica activo a velocidades compreendidas entre os 30 a 180 km/h, logo que forem detectados

veículos que circulem à sua frente. Para além disso, o sistema *PRE-SAFE* também reage em situações em que há uma aproximação de veículos parados, se o condutor não circular a mais de 70 km/h [Spiegel].



Figura 2.3: Volvo *City-Safety-System*: Evita embates entre veículos através de sensores.

2.2.5. Adaptive Cruise Control

O sistema *Adaptive Cruise Control (ACC)* desenvolvido pela Volvo, é uma tecnologia que regula a velocidade do veículo baseada em parâmetros introduzidos pelo utilizador. Este sistema tem como objectivo aumentar a segurança durante a condução, ajudando o condutor a manter uma distância de segurança do veículo da frente através de um ajuste automático da velocidade e da distância entre os veículos. A Volvo apresentou este sistema em primeira instância como funcionalidade de conforto, mas ao mesmo tempo contribui para uma condução mais controlada em tráfego irregular.

Este sistema usa um sensor incorporado na parte dianteira do carro, com um alcance até 200 metros. Este sensor mede constantemente a distância ao veículo da frente e ajusta automaticamente a velocidade para manter uma distância de segurança adequada. O *Adaptive Cruise Control* desacelera e acelera automaticamente o carro de acordo com a velocidade desejada e os parâmetros de distância estabelecidos pelo condutor. O sistema mantém uma distância constante, isto é um intervalo de tempo constante, para o veículo da frente, adaptando constantemente a capacidade do motor e activando os travões caso necessário. O sistema tem como objectivo principal permitir uma condução relaxada. A função de travagem apenas fornece um efeito limitado [AutoWe04]. A distância entre os dois veículos é calculada por radar. A velocidade do veículo da frente é determinada medindo como a frequência do feixe de radar devolvido foi alterado pelo efeito *Doppler*. A diferença em frequência entre os sinais transmitidos e recebidos dá uma medida de quanto mais rápido ou devagar o carro da frente se movimenta em relação ao veículo conduzido.

O condutor activa o sistema *Adaptive Cruise Control*, introduzindo os parâmetros de velocidade máxima desejada entre 30 e 200km/h, e o intervalo de tempo mínimo ao veículo à sua frente. O

intervalo de tempo pode ser regulado para valores entre um e três segundos. Se, por exemplo, fôr introduzido um tempo de dois segundos, o sistema mantém uma distância de segurança de 56 metros a uma velocidade de 100 km/h. A distância varia com a velocidade e é de cerca de 39 metros a uma velocidade de 70 km/h [VolvoCars], [VolvoXC], [AutoWe04]. Na figura 2.4 pode ser observada uma representação da tecnologia do sistema ACC.



Figura 2.4: O Sistema ACC mantém uma distância de segurança ao veículo da frente conforme a velocidade máxima desejada e a diferença de tempo mínima introduzidas pelo condutor no sistema.

2.2.6. Sistema de luz direccional adaptativa

Este sistema tem como objectivo fornecer uma boa visibilidade na condução nocturna e em más condições de iluminação. Ao contrário dos faróis comuns, esta “luz inteligente” possui faróis com movimentos horizontais, que iluminam as curvas de forma óptima mesmo antes do condutor entrar nelas.

A tecnologia de luz adaptativa antecipa-se, identificando qual a direcção que o condutor vai tomar e gira os faróis para a direcção apropriada. Ao contrário dos faróis convencionais que apenas seguem o ângulo do volante ou a posição das rodas dianteiras, o controlo inteligente de luzes ilumina a estrada à frente, mesmo antes de entrar na curva. Os faróis adaptam-se automaticamente à curva e os cones luminosos mantêm-se na estrada. Assim possibilita-se a iluminação da curva em todo o seu percurso da melhor forma. Isto é possível através de um sistema de sensores e de computadores que recorrem ao uso do ângulo de viragem do veículo, à velocidade e à aceleração para calcular a trajectória, reconhecendo alterações neste, mesmo antes de acontecerem [AParts], [BMW]. A figura 2.5 apresenta uma imagem do funcionamento deste sistema de luz adaptativa.

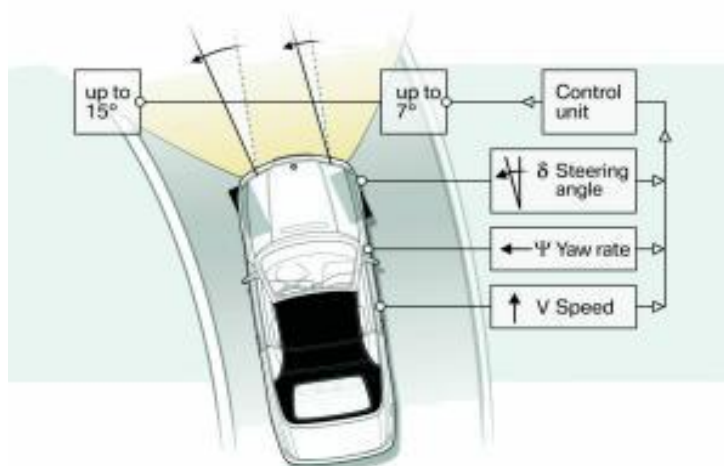


Figura 2.5: O Sistema de luz direccional adaptativa calcula o percurso, utilizando os dados de velocidade e de ângulo de rotação do veículo.

2.2.7. Visor Head-Up

Ao longo dos anos os carros têm vindo a ser equipados com cada vez mais funcionalidades, que são reguladas através de vários botões ou outros elementos de comando. Até que a estação de rádio adequada esteja seleccionada, ou o caminho programado para o restaurante no sistema de navegação e a temperatura óptima regulada, decorre muito tempo. Tempo este em que o condutor não está completamente concentrado e atento à estrada.

A uma velocidade de 50 km/h o veículo desloca-se 13,88 metros por segundo, e a uma velocidade de 100 km/h a 27,78 metros por segundo. Num sistema de *Head-Down-Display*, o condutor tem que baixar a cabeça para efectuar a leitura da informação pretendida, e a duração da distracção é influenciada por dois factores. Por um lado é desviado o olhar da estrada para o painel de instrumentos, e por outro lado é requerido um tempo para a acomodação da vista.

Em contraste, o *Head-Up-Display* é um sistema que projecta toda a informação relevante como velocidade, indicações de direcção, avisos de avaria, ou definições de rádio, directamente no campo de visão do condutor no pára-brisas, não tendo o condutor de desviar o olhar da estrada. Este sistema tem por base aumentar a segurança na condução, diminuindo significativamente o tempo de distracção na leitura da informação [Zdnet].

Na Europa, o sistema *Head-Up-Display* só surgiu em 2003 com a apresentação do BMW Série 5, que já está actualmente disponível como equipamento opcional nos modelos BMW Série 6, X5, M5 e M6. Outros fabricantes de automóveis mostraram interesse neste sistema, mas ainda não o oferecem aos seus clientes.

A imagem projectada no vidro é criada num ecrã TFT com resolução de 65000 pixéis. O ecrã TFT é iluminado por trás por uma fonte de luz, os raios de luz são desviados por vários espelhos e por fim projectados para o pára-brisas, criando uma imagem de *display* com uma área de 18 x 9 centímetros. Mais de trezentas mensagens de aviso e indicações de direcção podem ser projectadas para o pára-brisas [BMWHub]. Os espelhos têm várias tarefas. Por um lado devem regular a distância entre a fonte de luz até à superfície reflectora (espelho). Por outro lado corrigem o erro óptico provocado pela curvatura do vidro o melhor possível. Apesar da imagem ser directamente projectada no vidro, o condutor tem a sensação de que a informação está a flutuar dois metros e meio à sua frente. O sistema possui sensores de luminosidade, que controlam permanentemente a intensidade da luz e adapta-se à sua variação. Esta regulação automática permite que a informação projectada possa ser lida mesmo sob sol intenso ou de noite [Zdnet]. A seguinte figura apresenta um exemplo de informação projectada pelo sistema no pára-brisas do veículo.



Figura 2.6: A figura apresenta o Sistema *Head-Up Display*, onde está projectada no pára-brisas informação.

2.2.8. Night Vision

A condução nocturna proporciona um maior risco de acidentes envolvendo pessoas e animais, que circulam na estrada ou à beira desta. Face a este problema, a BMW desenvolveu uma solução tecnológica capaz de diminuir o risco de acidentes nestas situações, aumentando a segurança na condução nocturna. O sistema de assistência de condução, *Night Vision*, tem como objectivo fornecer aos condutores uma melhor visão nocturna, aumentando a segurança da condução através do reconhecimento antecipado de situações perigosas ou prejudiciais, envolvendo pessoas, animais e objectos na estrada, ou na berma. Assim, o condutor tem a possibilidade de reagir em cada situação da melhor forma. Este sistema de segurança activa está actualmente disponível como equipamento opcional para os modelos das Séries 5, 6 e 7.

O sistema de assistência, *Night Vision*, é baseado numa tecnologia de câmara fotográfica de radiação térmica e infravermelhos longos, que abrange uma área de até 300 metros à frente do veículo, criando uma imagem fora do alcance dos faróis e apresentando-a num monitor por cima do painel de instrumentos. Quanto mais calor for detectado pela câmara, mais claros são apresentados os objectos na imagem, ou seja, os objectos mais claros da imagem são constituídos por pessoas e animais (normalmente mais quentes que o ambiente circundante). A BMW optou pela tecnologia inovadora de infravermelhos largos, pois, segundo vários estudos efectuados, os sistemas baseados nesta tecnologia realçam em particular pessoas, animais e objectos, que emitem temperaturas mais elevadas. Os infravermelhos longos não apresentam uma imagem detalhada da situação de tráfego, pois tal apenas contribui para o atraso do reconhecimento de seres humanos dentro da imagem vista pelo condutor. O condutor apenas é confrontado com aspectos relevantes, como o reconhecimento de pessoas e animais, e não é distraído com detalhes insignificantes de tráfego. A câmara térmica baseada nesta tecnologia tem um alcance até 300 metros em frente, sendo quase o dobro do valor alcançável por sistemas baseados numa tecnologia de infravermelhos curtos, como no modelo Mercedes classe S e Lexus LX470 com um alcance entre 150 a 200 metros. Se o condutor circular, por exemplo, a uma velocidade de 100 km/h, ele é informado cinco segundos antes da existência de seres vivos que constituem uma situação de perigo no seu percurso. O *Night Vision* tem uma maior eficiência e usabilidade em percursos não urbanos mal ou não iluminados, proporcionando ao condutor uma condução nocturna mais segura ao detectar, antecipadamente a existência de obstáculos humanos, ou animais, na estrada ou arredores [BWeek].

A BMW aumentou a tecnologia de infravermelhos longos para o seu uso em veículos em algumas funcionalidades úteis. A câmara tem um alcance de cerca de 300 metros e uma resolução de 320x240 pixéis, registando o calor emitido pelos seres vivos e objectos numa largura de banda de oito a catorze micra. Para velocidades inferiores a 80 km/h a câmara tem um ângulo de captação de 36 graus, sendo este bastante maior do que em outros sistemas (12 a 28 graus), permitindo identificar a área lateral da estrada e arredores [WCar], [Motoring]. A unidade de controlo recebe os dados da câmara e converte-os para uma imagem no monitor, que electronicamente regula a intensidade de luminosidade conforme as condições externas.

Para velocidades superiores a 80km/h o monitor cobre um ângulo de 24 graus, adicionando mais seis graus para a esquerda ou para a direita, segundo a rotação do volante. Adicionalmente, o recorte da imagem apresentado no visor segue a estrada num processo de *panning*. Para velocidades mais elevadas é possível activar um Zoom digital, de forma a aumentar objectos mais distantes em 50% [Motoring].

A câmara térmica detecta seres humanos, animais e objectos à frente do carro antes de se tornarem visíveis pelo olho humano através dos faróis. A imagem gerada é transmitida para o monitor dentro do carro apresentando objectos detectados com luminosidade aumentada, em função do calor detectado pela câmara. Assim pessoas e animais são os objectos mais claros.

O *Night Vision* apresenta uma imagem nocturna de contraste a preto e branco no monitor no centro do painel de instrumentos (figura 2.7). Beneficiando da tecnologia de infravermelhos longos, o condutor apenas tem de consultar o monitor, de forma a reconhecer uma situação de perigo [Bweek].

Uma vez activado pelo condutor, o sistema Night Vision acompanha-o continuamente. A sua função consiste em aumentar o espaço de manobra e a segurança do condutor, podendo estes factores ser decisivos. Sistemas de assistência como este, no entanto, não fornecem segurança total. Informam o condutor melhor do que antes, e fazem com que os perigos sejam reconhecidos, mas não actuam autonomamente. A BMW segue a filosofia de que é sempre o condutor a tomar a decisão [WCar].



Figura 2.7: Sistema *Night Vision*. A imagem é representada com um contraste de preto e branco no monitor.

2.2.9. Assistente de faróis máximos

Um estudo científico efectuado em nome do ministério de transporte dos Estados Unidos da América, mostrou que os máximos apenas são usados em 25% das situações em que poderiam ou deveriam ser usados [Mot]. O assistente de máximos tem como finalidade aumentar o uso dos máximos. Este sistema também tem como funcionalidade desligar dos máximos, impedindo outros veículos de serem encandeados, quando o condutor não actua atempadamente. Ao mesmo tempo permite aliviar o condutor de tal tarefa, aumentando o conforto e segurança da condução.

Com o assistente de máximos disponível desde Setembro de 2005 nos BMW serie 5, 6 e 7, um sensor de câmara incorporado no espelho interior regista o movimento na estrada e maneja

automaticamente o ligar e desligar das luzes de máximos. O assistente de máximos é responsável por ligar os máximos sempre que as condições de condução o permitirem e exigirem. As luzes dos faróis de outros veículos, assim como as luzes traseiras e luzes ambientes são reconhecidas pelo sistema. Os máximos são activados na ausência de veículos, que circulem à frente, na direcção oposta, ou caso a estrada não esteja suficientemente iluminada. Os máximos são desactivados, quando são identificados veículos em sentido contrário, ou veículos à frente do condutor, a fim de não serem encandeados. O sistema também desliga automaticamente os máximos se houver iluminação suficiente na estrada, ou caso o condutor circule a uma velocidade baixa, nas quais o conduzir com os máximos não traz aumento de segurança.

O sistema analisa a luminosidade e a da fonte de luz, para poder reproduzir um comportamento humano de ligar e desligar os máximos. Os participantes de trânsito são reconhecidos numa área de cerca de 1000 metros.

A BMW é o primeiro fabricante europeu que fornece este tipo de sistema [WCar].

2.2.10. Sistema de assistência ao estacionamento

A Mercedes estreou nos novos modelos Classe CL, como opcional, a partir de finais de 2006, a tecnologia mais recente de apoio ao estacionamento, através de um sistema inovador por radar.

Este sistema informa o condutor da distância dos obstáculos através do visor e de sinais de advertência acústicos à frente e atrás, medidos pelos radares utilizados no sistema.

Para uma velocidade máxima de 40 km/h, os sensores instalados lateralmente nos pára-choques são capazes de calcular se o lugar de estacionamento encontrado dispõe de espaço suficiente para o estacionamento do automóvel. Caso o veículo circule a uma velocidade inferior a 16 km/h, o sistema, ao detectar um lugar adequado de estacionamento no lado do acompanhante, coloca o símbolo “P” a azul no painel de instrumentos. O espaço para estacionar do lado do condutor é indicado, se for activado o indicador desse lado.

Quando o condutor imobiliza o veículo na posição indicada no monitor e engata a marcha atrás, o monitor apresenta uma representação simbólica, com uma perspectiva vista de cima, da situação de estacionamento. Linhas condutoras coloridas indicam ao condutor como estacionar da melhor forma, havendo três cores disponíveis. A cor vermelha indica o ângulo corrente do volante, enquanto a linha amarela indica o ângulo do volante requerido para estacionar. O condutor roda o volante até que as duas linhas coincidam, e depois pode começar a recuar lentamente. Assim que o ângulo de rodagem ideal e actual coincidirem, as linhas de condução no painel mudam para a cor verde. Quando o veículo se encontra em andamento, um sinal acústico é accionado, informando o condutor quando é atingida a posição a partir da qual é necessário virar o volante ao contrário.

Durante as manobras de estacionamento o sistema monitoriza constantemente o ângulo de viragem e a posição do veículo. Se o condutor parar antes de atingir a posição recomendada, o sistema recalcula automaticamente o ângulo do volante ideal para o estacionamento [AChannel]. A seguinte figura apresenta uma imagem da interface do sistema de assistência ao estacionamento.



Figura 2.8: Com a ajuda de sensores o novo sistema de estacionamento da Mercedes reconhece um espaço de estacionamento adequado.

2.2.11. Park Assist

A Volkswagen desenvolveu um novo sistema dinâmico de estacionamento, o *Park Assist*, capaz de estacionar o veículo sozinho em quinze segundos. Este sistema está actualmente disponível como equipamento opcional no modelo Touran, sendo o primeiro modelo da sua classe, a nível mundial, a dispor de um sistema dinâmico de estacionamento.

O *Park Assist* não é um sistema de segurança activo, mas sim fundamentalmente um sistema cuja funcionalidade adiciona conforto à condução. No entanto, dada a sua tecnologia e usabilidade, esta aplicação é relevante para os objectivos deste trabalho.

O *Park Assist* é fácil de usar (não sendo necessário tocar no Monitor), tem procedimentos intuitivos e o condutor mantém o controlo total do veículo. Quando o veículo circula a uma velocidade até 30 km/h, e a uma distância entre 0,5 e 1,50 metros de outros veículos estacionados, sensores ultrasónicos instalados lateralmente no veículo procuram permanentemente espaços de estacionamento adequados, à esquerda e à direita, paralelos à faixa de rodagem. Uma unidade de controlo electrónica calcula o percurso ideal para efectuar o estacionamento. O premir de um botão ao pé da caixa de mudanças activa a ordem respectiva ao computador de bordo, integrado em cima do velocímetro, à frente do condutor. Assim que o sistema detectar um espaço de estacionamento potencialmente adequado, tal é sinalizado opticamente. Quando o veículo se encontrar na posição ideal para estacionar nesse espaço tal, é sinalizado com uma seta e o condutor pode iniciar a

manobra. Depois disto, o condutor tem apenas de accionar o pisca e engatar a marcha-atrás. Surge então no ecrã a mensagem de que está em funcionamento a intervenção na direcção, e de que se deve verificar o espaço em redor. Durante todo o processo de estacionamento automático, tudo o que o condutor tem de fazer é acelerar, accionar a embraiagem e travar – o Touran encarrega-se do resto. As rodas dianteiras são rodadas para o ângulo correcto, o Touran recua para dentro do espaço de estacionamento, e, antes do pneu direito traseiro tocar no passeio, as rodas dianteiras rodam ao contrário. Assim que o veículo estiver na posição correcta, é sinalizado no *display* e acusticamente para o condutor travar e engatar a primeira mudança. Depois as rodas dianteiras e o volante viram automaticamente, e o condutor apenas tem de acelerar para que o veículo se coloque em linha entre o veículo traseiro e dianteiro. O sistema também é aplicável para o estacionamento do lado esquerdo [AAutoDe].

O *Park Assist* é automática e instantaneamente desactivado se a velocidade for muito elevada e/ou se o condutor intervier na direcção. Uma vez engrenada a marcha-atrás, o processo de estacionamento tem, normalmente, a duração de apenas quinze segundos. O sistema apenas aceita espaços de estacionamentos que sejam no mínimo 140 centímetros maiores do que o comprimento do próprio veículo. O Touran necessita então de uma distância no mínimo de 70 centímetros para a frente e para trás. A figura 2.9 apresenta a interface do *Park Assist* da Volkswagen.



Figura 2.9: Assim que o sistema detectar um espaço de estacionamento potencialmente adequado, tal é sinalizado opticamente. Quando o veículo se encontrar na posição ideal perante esse espaço, é sinalizado com uma seta e o condutor pode iniciar a manobra.

3. Usabilidade das interfaces

No desenho de qualquer sistema é necessário ter em consideração certos princípios de usabilidade. Têm sido efectuadas muitas investigações relacionadas com a usabilidade no desenho das interfaces para, de modo a que a interacção do utilizador com estas tenha o menor efeito possível na tarefa primária de conduzir o veículo de forma segura. Estas investigações têm como objectivo final o desenvolvimento e lançamento de novos sistemas tecnológicos no mercado que sejam úteis, fáceis de usar e, principalmente, eficazes na expectativa das suas funcionalidades para o consumidor final.

As secções que se seguem descrevem algumas considerações sobre factores humanos envolvidas no processo de desenvolvimento dos sistemas para a proporção de usabilidade e de segurança.

3.1. Distracção do condutor

Antes de referir considerações sobre segurança e usabilidade é necessária informação sobre factores humanos e usabilidade. Para desenhar um sistema com base em capacidades humanas e recursos, é necessário ter conhecimento sobre a psicologia cognitiva e a sua implicação na distracção do condutor.

Esta secção descreve vários aspectos que originam a distracção do condutor, focando-se especialmente na distracção causada por actividades ou objectos no interior do veículo.

Uma actividade que distrai o condutor ou que compete pela sua atenção enquanto conduz tem o potencial de degradar o desempenho da condução e, conseqüentemente, a segurança na estrada. A tarefa de conduzir requer a interacção e coordenação de capacidades cognitivas, físicas, sensoriais e psicomotoras. Também requer atenção e concentração por parte do condutor.

Actualmente pode ser encontrada uma grande diversidade de sistemas de informação no interior de um veículo (telemóveis, GPS, sistemas de entretenimento). O condutor ao interagir com estes sistemas enquanto conduz tem que dar atenção a várias tarefas. No entanto, durante esta interacção, pode haver distracção cognitiva em que a atenção do condutor é desviada da tarefa primária de conduzir em segurança afectando a percepção do ambiente exterior da estrada e aumentando também o seu tempo de reacção [YMM03].

A distracção visual ocorre quando o campo de visão do condutor é bloqueado por algum objecto, que o impede de detectar ou reconhecer objectos na estrada [IUA01] ou quando o condutor negligencia a tarefa de manter o olhar atento à estrada para focar outro alvo visual (GPS) [YMM03]. Para além da distracção visual ainda há outras distracções a considerar na execução simultânea de várias tarefas. Pode ocorrer distracção física, quando o condutor retira uma ou ambas as mãos do

volante para interagir fisicamente com dispositivos tecnológicos, ou distração auditiva, em que o condutor foca a sua atenção em sons ou sinais sonoros em vez de prestar atenção à condução. Considerações adicionais e estratégias para reduzir a distração do condutor na interacção com dispositivos no interior do veículo são apresentadas em [Por06], [Trans03].

Segundo estudos da *American Automobile Association Foundation for Traffic Safety* a distração do condutor é definida como a ocorrência de um atraso no reconhecimento de informação necessária para completar a tarefa de conduzir seguramente devido à sucessão de algum evento, actividade, objecto ou pessoa dentro ou fora do veículo que induz o desvio da atenção da tarefa primária da condução [Tre80].

No desenvolvimento de qualquer sistema de informação para o interior do veículo, para adquirir usabilidade e segurança, é necessário o desenho de uma interface que permita uma interacção com o utilizador que tenha o menor efeito possível na tarefa de conduzir o veículo de forma segura.

3.2. Erros humanos

Os erros humanos contribuem significativamente para o número de acidentes rodoviários registados. Conseguir reduzir o espaço de manobra para a ocorrência de erros humanos na condução pode ser uma grande vitória significando uma diminuição no número de acidentes, mortes, ferimentos e danos materiais na estrada [USTrans].

Para atingir esse objectivo, as indústrias automóveis apostam cada vez mais no desenvolvimento de sistemas inovadores baseados em novas tecnologias avançadas, integrando em todo o processo de produção destes sistemas um esforço significativo de investigação e consideração de questões relacionadas com o desempenho e comportamento do condutor durante o processo de condução.

Um programa de investigação coordenado e proactivo de factores humanos é essencial para assegurar que os dados e métodos necessários sejam disponibilizados às indústrias responsáveis pelo desenho e implementação de tecnologias avançadas para sistemas de transporte de forma a poderem ter uma abordagem centrada na pessoa.

A introdução de uma abordagem centrada na pessoa é necessária no processo de desenho, desenvolvimento e implementação dos sistemas, para assegurar a realização das potencialidades e objectivos das funcionalidades destas tecnologias. As potencialidades e objectivos incluem um aumento na segurança, fiabilidade e produtividade de sistemas de transporte e consequentemente a diminuição de erros humanos.

Numa abordagem de sistema centrado na pessoa o principal foco são as capacidades e limitações humanas relativamente a uma interface que serve de interacção entre pessoa e sistema, operações e

integração do sistema. O objectivo é o desenho de sistemas de transporte cujas funcionalidades permitam facilitar e complementar as tarefas do condutor, a fim de este conseguir manter a atenção na tarefa da condução ao invés de ser distraído pela tecnologia.

3.3. Sistemas de transporte inteligentes e usabilidade de interfaces no interior do veículo

A integração de sistemas baseados em novas tecnologias acrescenta aos veículos de transporte diferentes tipos e níveis de inteligência para complementar o condutor, expandindo o seu conhecimento, assim como a percepção do ambiente envolvente.

Estas tecnologias de informação e de controlo que permitem adicionar inteligência aos veículos são desenvolvidas e comercializadas com o objectivo de aumentar a segurança, o desempenho e conveniência do condutor.

Um sistema de transporte inteligente tem a capacidade de apreender informação relativamente ao ambiente da estrada e actuar para atingir os seus objectivos, assistindo positivamente o condutor durante a sua viagem. Normalmente estes sistemas podem ser adquiridos como equipamento opcional ou de serie.

Apesar das tecnologias no interior do veículo poderem melhorar as capacidades e o conforto do condutor, a natureza complexa e distinta destes sistemas exige um desenvolvimento e implementação cuidadosa, pois de contrário pode trazer problemas sérios para a segurança global na estrada. O desenho da interface dos sistemas no interior do veículo, com a qual o condutor interage fisicamente e cognitivamente é por isso crítico [Cell01].

O desenho da interface é uma área chave emergente, tendo um impacto significativo na usabilidade global e segurança dos sistemas [JW05].

O processo de desenvolvimento de sistemas de informação e de controlo para o interior do veículo tem vindo a focar-se não apenas no bom funcionamento da tecnologia, mas também na interacção com o utilizador e as suas reais necessidades.

Investigações afirmam que o crescimento contínuo de sistemas para o interior do veículo depende da consideração de preocupações de segurança e usabilidade [TG99].

Para que um sistema desenvolvido por qualquer indústria automóvel consiga verdadeiramente adicionar inteligência ao veículo é necessário um esforço significativo de integração no desenho da interface que é o canal de interacção e comunicação através do qual o utilizador interpreta a informação transmitida. O sistema deve apresentar integração, coordenação e coerência de modo a poder complementar o condutor considerando totalmente os seus requisitos, capacidades e

limitações. Um dos principais aspectos do desenho correcto das interfaces dos sistemas é a redução de distração do condutor durante a interacção, diminuindo consequentemente a probabilidade de ocorrência de erros humanos.

Numa interface que apresenta informação visual num ecrã é necessário que o condutor possa assimilá-la rapidamente para não afectar a atenção do condutor durante a condução. Também é requerido que o condutor possa controlar a interacção com o sistema.

Segundo [Mur01] as interfaces gráficas devem apresentar apenas informação requerida e esconder outras informações até que sejam especificamente solicitadas.

Esta consideração é fortalecida pelos princípios e regras base de desenho frequentemente usadas pela *University of Michigan Transportation Research Institut's Interface Design* [Gree96]. Estas regras afirmam que a interface deve manter-se simples e o seu desenho consistente.

Como regra geral, o desenvolvimento de sistemas avançados não pode ser considerado completo até integrarem uma interface suficientemente amigável para o utilizador. As mesmas considerações valem para sistemas que adicionam inteligência a veículos, onde uma forma de diálogo fácil, efectiva e imediata com o equipamento do veículo pode motivar um desempenho de condução mais seguro e efectivo [JW05].

3.4. Categorização dos utilizadores

Quando falamos de utilizadores é comum dividi-los em grupos de acordo com o seu conhecimento prévio da interface a ser testada ou com interfaces similares às consideradas.

Dado que se pretende estudar a usabilidade de aplicações computacionais é comum dividir os utilizadores em categorias de iniciado ou utilizador treinado. Esta divisão é baseada no facto do utilizador não ter contactado ou ter contactado superficialmente com uma dada interface (iniciado), ou de ter sido ensinado ou treinado a utilizar a interface (utilizador treinado) [Por07].

A interface considerada neste trabalho é composta pela interface de condução e as interfaces dos sistemas de segurança activos e de assistência.

Para classificar um utilizador como válido para os testes de usabilidade no simulador deste trabalho, este tem de satisfazer o pré requisito de possuir a carta de condução.

Considera-se este requisito fundamental, pois pretende-se que o utilizador esteja familiarizado com o ambiente e a tarefa de condução, possuindo conhecimento sobre o manuseamento de um veículo real e também dos conceitos e regras de trânsito.

Impondo este pré requisito, pode-se assumir que os utilizadores já estão familiarizados com a interface de condução, ou seja, com o manuseamento do volante e pedais. No entanto, como se trata de um simulador de condução e não de um veículo real, há diferenças comparativamente à sensibilidade destes dispositivos, significando que é necessário um período de adaptação até que os utilizadores possam ser considerados utilizadores treinados para a interface de condução.

Relativamente à interface dos sistemas de segurança activa e de assistência ao condutor há vários aspectos a ter em consideração.

Primeiro, estes sistemas tentam recrear os sistemas de *Night Vision*, *Head-Up Display*, sensores de detecção de aproximação, *Park Assist* e assistência ao estacionamento actualmente em produção pelas indústrias de automóveis descritas no capítulo 2. No entanto as aplicações desenvolvidas não são idênticas. Há diferenças fundamentais, maioritariamente devido a limites na tecnologia de simulação usada – Os botões e interruptores de controlo e a sua localização nos sistemas tradicionais são simulados por botões disponíveis nos dispositivos do simulador, nomeadamente localizados no volante e caixa de velocidades.

Segundo, quando comparando as interfaces tradicionais com as integradas, é um facto que o processo de aprendizagem de usar as interfaces tradicionais é mais fácil e rápido em utilizadores não treinados do que nas interfaces integradas.

Adicionalmente, é de referir que os sistemas de segurança activa e de assistência ao condutor em produção na indústria automóvel fazem parte do equipamento opcional ou de série. Por este motivo, deduz-se que a maior parte dos utilizadores a testar os sistemas simulados não possui conhecimento nem contacto com esses sistemas.

Tendo em conta os últimos aspectos descritos, foi decidido treinar todos os utilizadores para a utilização da interface dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor. Conclusivamente, pode dizer-se que os utilizadores nesta experiência foram treinados e eram experientes quanto à interacção da interface de condução e treinados mas inexperientes relativamente à interacção da interface dos sistemas de segurança e de assistência. Isto implica que antes de recolher dados de desempenho das tarefas estabelecidas na experiência com os utilizadores, é necessário um período de tempo de aprendizagem e adaptação para cada utilizador individual quanto à interacção com as interfaces, para poder testar o comportamento do condutor na execução simultânea de interacção com os sistemas desenvolvidos e tarefa de condução.

4. Simuladores para testar a usabilidade

O objectivo deste trabalho é estudar formas de aumentar a segurança e assistência na condução rodoviária usando princípios de desenho de interfaces centradas no humano conjuntamente com as ciências computacionais para a investigação de sistemas de informação que adicionam inteligência aos veículos e a sua contribuição para melhorar na tarefa de condução e de segurança rodoviária.

Este trabalho tem por objectivo a análise das influências, positivas ou negativas, na interacção do condutor com as interfaces de sistemas de segurança e assistência no interior de um veículo, na tarefa de condução. Procura também medir o grau de assistência fornecida pelos mesmos sistemas, aceitação e adaptação dos utilizadores.

Este assunto tem sido largamente estudado, e a diversidade emergente de dispositivos electrónicos (tais como telemóveis, GPS, MP3) devido aos avanços tecnológicos dos últimos anos, induzem a indústria automóvel na exploração de configurações alternativas de controlar estes novos dispositivos de forma mais fácil, segura e simples. Juntamente com a disponibilidade de dispositivos mais complexos, é necessário considerar o ambiente da estrada quando analisando a segurança rodoviária. Tanto as estradas como os hábitos de condução têm vindo a alterar-se, e tem que se considerar aspectos tais como conduzir em estradas com muito trânsito, diferentes momentos do dia e condições ambientais, e as implicações que estas diferenças têm na utilização dos dispositivos [Por07]. Neste tipo de investigações é frequente o uso de simuladores de condução como ferramenta de estudo, variando desde simuladores de baixo custo que se assemelham a jogos de computador, a simuladores avançados de alta-fidelidade, custo e esforço de integração de um ambiente de condução realista elevado.

O trabalho apresentado neste documento também é uma investigação baseada na utilização de um simulador de condução como ferramenta de estudo considerando as influências e medições dos efeitos de distração de interfaces de sistemas de segurança e de assistência ao condutor durante a tarefa primária de condução segura.

4.1. Aplicação de simuladores para análise de aspectos de segurança rodoviária

A utilização de simuladores de condução em investigações que examinam e medem a distração e desempenho do condutor nas tarefas concorrentes de interacção com dispositivos de sistema de informação e a condução segura é uma prática comum, pois adicionam várias vantagens face a testes reais na estrada. A utilização de simuladores de condução tem a vantagem primordial de permitir

estudar um número de medições de desempenho de condução num ambiente relativamente realista e de condução segura.

Os simuladores utilizados para investigações variam no entanto substancialmente nas suas características, o que pode afectar o seu realismo e a validade dos resultados obtidos. Simuladores de condução de alta-fidelidade oferecem um ambiente de condução realista, integrando vários componentes que criam uma realidade virtual do ambiente na estrada, tais como, aparência física do simulador, cenário visual colorido, texturado e com objectos que se podem ser encontrados durante a condução como, sinais de trânsito, árvores e outros veículos. Simuladores de baixa fidelidade oferecem um ambiente de condução menos realista, apresentando uma cena visual simples, reproduzindo frequentemente apenas as marcações delimitadoras da estrada.

O emprego de simuladores de condução para efectuar estudos apresenta um número de vantagens sobre estudos baseados em estradas reais.

Primeiro, os simuladores fornecem um ambiente seguro para a condução de pesquisas perigosas para serem efectuadas em estrada. Um exemplo de uma pesquisa potencialmente perigosa é a medição dos efeitos de distração de certos dispositivos durante a condução, e por isso frequentemente realizada recorrendo ao uso de simuladores. Por outro lado, os simuladores de condução fornecem um ambiente seguro para a análise destes aspectos, usando múltiplos cenários do ambiente de condução, onde o condutor pode interagir com outros veículos e pedestres enquanto usa certos dispositivos.

Segundo, pode também ser aplicado um maior controlo experimental num simulador de condução comparado com estudos na estrada, pois permitem especificar o tipo de dificuldade da tarefa de condução e modelar variáveis tais como condições ambientais.

O custo de modelar o *cockpit* de um simulador de condução, para testar questões específicas, pode ser significativamente menor do que modificar um veículo real e assegura que as modificações são construídas ou seguem as regras de desenho. Outra vantagem do recurso a simuladores é de poder examinar um grande número de medidas de desempenho de condução, tais como velocidade e cumprimento da posição lateral na estrada. Também podem ser recolhidas medidas adicionais como o movimento do olhar, comportamento e observação do condutor usando a simulação.

Por fim, a utilização de simuladores de condução permite com relativa facilidade a integração e administração de um elevado número de diferentes condições de teste na cena visual como, por exemplo, ser dia ou noite, condições de tempo e ambientes da estrada diferentes. As condições de teste podem incluir situações de condução perigosas ou arriscadas difíceis de reproduzir em condições de condução reais.

No entanto a utilização de simuladores de condução como ferramenta de estudo tem um número de desvantagens.

Primeiro, os dados obtidos incluem os efeitos de aprender a usar o simulador e qualquer dispositivo simulado no interior do veículo. Também pode reflectir efeitos da monitorização do experimentador. Os simuladores de condução de alta-fidelidade têm um custo operacional elevado face a outros equipamentos.

No entanto, o aspecto mais problemático em medir o comportamento do condutor recorrendo a um simulador de condução e que realça implicações importantes de pesquisa, é o efeito do simulador nas prioridades do condutor relativamente à tarefa de condução e outras tarefas concorrentes de interacção com interfaces de dispositivos no interior do veículo. O comportamento do condutor em efectuar tarefas concorrentes enquanto no simulador pode divergir significativamente do seu comportamento habitual em veículos e estradas reais devido à inexistência de consequências sérias resultantes dos seus erros de condução no simulador. Este aspecto influencia a validade de simuladores de condução como ferramenta de investigação para factores humanos.

Para aumentar a validade dos resultados obtidos utilizando um simulador de condução há que ter duas preocupações principais.

Tem que haver uma correspondência física entre os componentes do simulador, aparência de controlo e características de resposta, com a sua correspondente no mundo real, sendo este aspecto referido como a fidelidade do simulador. Quanto mais próximo um simulador estiver na sua aparência, controlo e realismo da cena visual, e as características de resposta física a um ambiente de condução no mundo real, maior a sua fiabilidade.

O segundo aspecto a ter em conta é relativo à validade comportamental e preocupa-se com a diferença entre o comportamento que o utilizador tem no simulador face a um veículo real. O melhor método de determinar a validade comportamental de um simulador é comparar o desempenho de condução no simulador ao desempenho de condução em veículos reais usando as mesmas tarefas [YMM03].

[Por07] apresenta alguns simuladores disponíveis e as suas capacidades e o propósito da sua utilização.

4.2. O simulador utilizado neste trabalho

Esta secção descreve o simulador utilizado e que foi modificado para a realização deste trabalho. As aplicações dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor desenvolvidas pelo autor, foram integradas no simulador criado por Acácio Porta Nova, apresentado em [Por06].

O simulador original é um simulador de condução de baixo custo, que não pretende competir com os simuladores analisados por [Por07]. No entanto, este simulador oferece potencialidades úteis para a execução de estudos de usabilidade relacionados com interfaces telemáticas para o interior do veículo. As modificações realizadas a este simulador permitem adicionar potencialidades para a realização de estudos relacionadas com interfaces de sistemas de segurança e de assistência ao condutor no interior do veículo.

O objectivo do novo simulador, modificado para este trabalho, é de realizar testes de usabilidade às interfaces dos sistemas desenvolvidos durante a tarefa simultânea de condução. Para medição da eficiência e utilidade dos sistemas pretende-se também efectuar testes comparativos do desempenho do condutor a efectuar uma mesma tarefa com e sem a assistência dos sistemas.

O simulador de condução, visível na figura 4.1, tem uma aparência semelhante a um jogo de computador, com visualização num WACOM Cintiq 21 UX Touch Screen, controlo de direcção e velocidade através de um Logitech G25.



4.1: Simulador de condução utilizado neste trabalho

O simulador foi desenvolvido em ambiente de desenvolvimento Visual Studio .NET 2005, para execução em sistema operativo Microsoft Windows XP. Trata-se de uma aplicação 3D desenvolvida sobre a norma gráfica OpenGL, com código-fonte em C++, e recorrendo ao DirectInput para interacção dos dispositivos de controlo do veículo e ao DirectSound para despoletar sinais acústicos. Também foi utilizado um teclado para a navegação de menus.

O simulador possui várias características para uma aproximação de aparência, controlo, realismo da cena visual e características de resposta física, a um ambiente de condução no mundo real para um aumento da sua fiabilidade e validade dos dados obtidos. O simulador recria a condução de um veículo num meio urbano.

O controlo físico do veículo simulado é gerido através dos dispositivos de volante, pedais e utiliza um sistema de mudanças automáticas. O sistema de mudanças automáticas permite libertar o utilizador da tarefa adicional de controlo de uma caixa de velocidades, a qual constituiria um factor acrescido de potencial distracção prejudicial para os resultados do estudo pretendido. Para dirigir a viatura o utilizador apenas necessita de controlar o volante e os pedais de aceleração e de travagem.

O veículo permite a marcha para a frente e ainda para a retaguarda e possui uma funcionalidade que simula um sistema de *Cruise-Control* que permite manter a velocidade constante. Utilizadores que tenham mais dificuldade em controlar a velocidade do veículo podem beneficiar desta funcionalidade

Adicionalmente às interfaces de conforto implementadas no simulador original o simulador modificado permite controlar os sistemas de segurança e de assistência através de botões no volante e os botões da caixa de velocidades. Para aumentar o realismo de simulação, o simulador exhibe ainda dois retrovisores. Um interior, no canto superior direito do ecrã, e outro, no exterior, do lado esquerdo, que servem para dar uma maior noção de movimento.

A montagem do simulador foi feita de modo a recrear uma correspondência física entre os componentes do simulador e aparência de controlo com a sua correspondente de um veículo no mundo real. O volante está colocado à frente do condutor, o dispositivo das mudanças do lado direito do condutor e os pedais no chão por baixo do volante. Tal como em veículos reais, os utilizadores podem ajustar a profundidade do assento e do volante. No entanto, apesar da existência de um dispositivo de mudanças como componente física do simulador, este não é usado para o seu efeito comum. O simulador oferece uma aproximação à condução de um veículo de mudanças automáticas. O dispositivo é usado devido à existência de botões de controlo que são usados como modo de controlo dos sistemas desenvolvidos e integrados. A figura 4.2 apresenta um exemplo de vista do simulador original e do simulador alterado.

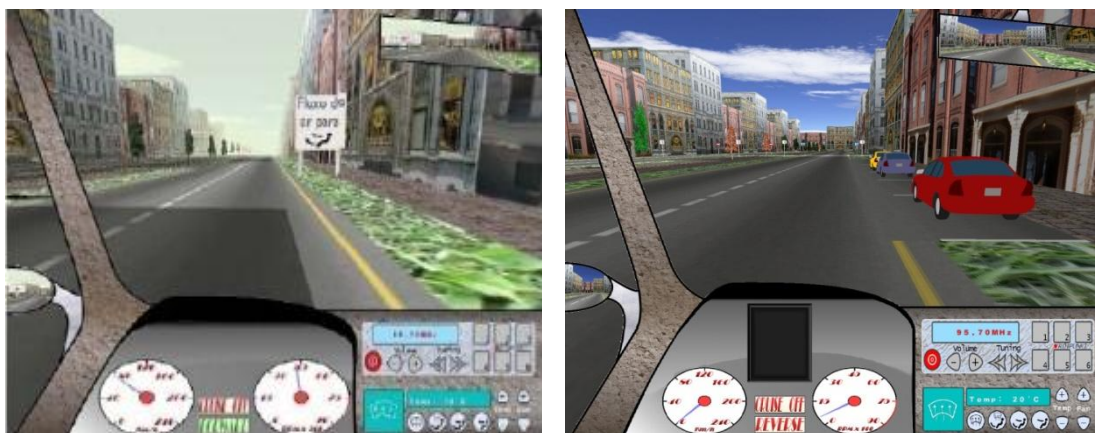


Figura 4.2: Um exemplo de vista do simulador original (esquerda) e do simulador alterado (direita)

4.2.1. Cenário visual

Para efectuar testes de usabilidade para os sistemas de segurança e de assistência ao condutor foi necessário ampliar o cenário realizado por [Por06] que simula um meio urbano, para simulação das tarefas em situações e condições de condução que surgem numa condução de um veículo real. A figura 4.3 apresenta um esquema da cidade usada como cenário da simulação.

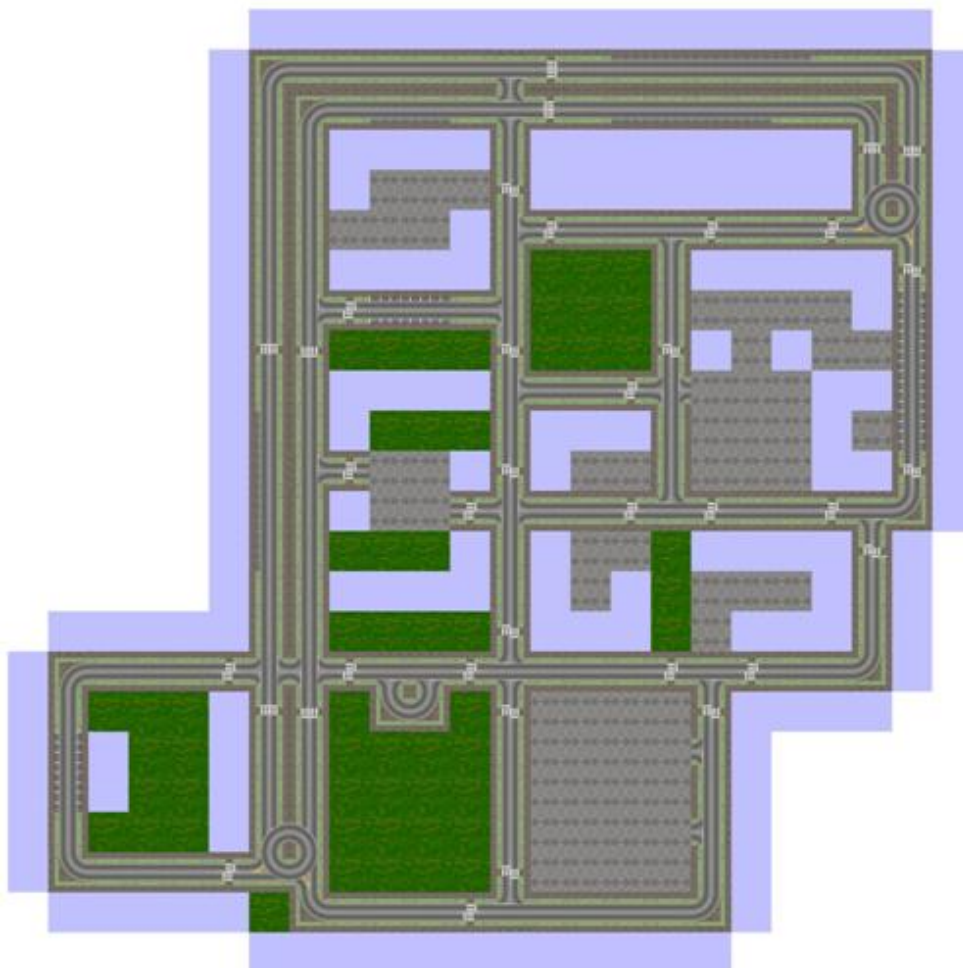


Figura 4.3: Esquema simplificado do cenário urbano.

O cenário apresenta uma malha de ruas e avenidas, com edifícios, zonas pedonais e zonas ajardinadas. O cenário também contém sinais de trânsito e árvores para recrear uma maior aproximação a uma condução em ambiente real.

Para a adaptação dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor no simulador de condução, foram adicionados elementos adicionais ao cenário urbano, a fim de simular a condução em situações normalmente encontradas num ambiente urbano real. Esta adição ao grau de realismo percebido pelo utilizador pretende o aumento da validade dos resultados obtidos através dos testes de usabilidade para os sistemas.

Foram adicionados os seguintes elementos:

- Semáforos
- Lugares delimitados para estacionamento
- Veículos estacionados
- Peões que circulam na rua
- Cenário noturno

Para além do acréscimo da cena visual do simulador original, foi adicionado ao *cockpit* o simulador de um ecrã sobre o velocímetro, que constitui a interface visual de alguns dos sistemas desenvolvidos neste trabalho. As seguintes imagens apresentam as alterações ao cenário visual e ao *cockpit* utilizado no simulador.



Figura 4.4: Cenário visual do meio urbano no simulador de condução modificado.

5. Sistemas de segurança e de assistência desenvolvidos

5.1. Sistema de visão noturna

O sistema desenvolvido de visão noturna é uma simulação do sistema *Night Vision* da BMW apresentado no capítulo 2.2.8.

Este sistema de assistência permite aumentar a capacidade de visão noturna do condutor durante a condução, detectando antecipadamente a presença de pessoas, animais ou outros objectos na estrada e apresentando uma imagem dos obstáculos num visor no painel de instrumentos. Desta forma, é possível aumentar a segurança global de condução noturna, não só porque melhora a visão do condutor que é mais reduzida durante a noite, mas também porque o sistema tem uma distância de detecção de obstáculos superior ao alcance da visibilidade dos faróis de um veículo. Também é importante referir que o sistema continua operacional na sua assistência em condições atmosféricas tais como nevoeiro e chuva que agravam a visibilidade do condutor.

O sistema, *Night Vision*, é baseado numa tecnologia de câmara fotográfica de radiação térmica e infravermelhos longos (comprimento de onda entre $8\mu m$ - $14\mu m$) integrada no pára-choques, que abrange uma área de até 300 metros à frente do veículo, criando uma imagem fora do alcance dos faróis e apresentando-a num monitor no painel de instrumentos. Quanto mais calor for registado pela câmara, mais claros são apresentados os objectos na imagem, ou seja, os objectos mais claros são constituídos por pessoas e animais. As figuras seguintes apresentam o sistema *Night Vision* em produção no mercado pela BMW e o sistema de visão noturna desenvolvido na aplicação para o simulador de condução num cenário noturno.



Figura 5.1: Interface do Night Vision



Figura 5.2: Interface do sistema de visão noturna integrada no simulador

5.1.1. Simulação da tecnologia em trabalhos relacionados

A recriação e simulação aproximadamente realista de uma tecnologia baseada em infravermelhos num ambiente tridimensional, têm vindo a ser um desafio na investigação nos últimos anos.

Abordagens iniciais a este problema baseiam-se na divisão de objectos tridimensionais em facetas, às quais são atribuídas certas temperaturas com fundamento em dados térmicos pré compilados e em heurísticas. No entanto, estes métodos têm a desvantagem de depender de heurísticas e de requererem uma vasta base de dados de valores térmicos, não considerando também o fluxo de calor entre facetas adjacentes e os elementos volumétricos interiores. Outras abordagens incluem o desenvolvimento de modelos através dos quais a radiância de cada faceta é calculada por programas ou a modelação de imagens infravermelhas dos objectos usando *octrees*. No entanto estas abordagens não contabilizam estruturas de materiais não homogêneos e a fonte interna de calor de um objecto.

Em 1994 foi proposto por *N.Nandhakumar* o primeiro método capaz de simular os efeitos térmicos de uma fonte de calor interna. O método constrói um modelo hierárquico do objecto chamado *Vs-tree* e avalia a temperatura de superfície na computação de cada elemento (nó) do objecto em sequência. No entanto à medida que o objecto aumenta de complexidade, o método tem de calcular um número vasto de nós, implicando uma carga computacional elevada. Neste método também é difícil de representar correctamente formas complexas de vários objectos [YPTW98].

[YTP98],[WWBP],[NoAg] e [YPTW98] apresentam soluções para a modelação de imagens térmicas através da criação de um modelo de síntese para a geração de imagens infravermelhas realistas, baseado em características físicas de infravermelhos e na transferência de calor.

Este método contabiliza todas as formas de transferência de calor dentro de um objecto assim como a interacção dinâmica entre a superfície do objecto e o ambiente. Também incorpora a estrutura do objecto tridimensional no modelo à medida que o calor flui de uma parte do objecto para outra.

Neste modelo é primeiro estabelecido uma equação de balanço térmico na superfície do objecto. Com base na equação anterior, a transferência de calor no interior do objecto e na fronteira da superfície do objecto, são calculadas as temperaturas e radiosidades das áreas do objecto. Por fim, é desenhado cada área da superfície do objecto utilizando o método de *Gouraud Shading* com base nas radiosidades calculadas. Este modelo pode ser consultado no Anexo A: *Simulação de Imagens Infravermelhas*, onde é descrito com mais detalhe.

5.1.2. Simulação da tecnologia

Esta secção descreve a metodologia adoptada para a simulação da tecnologia baseada em infravermelhos longos (comprimento de onda entre $8\mu m$ - $14\mu m$) para o sistema de visão nocturna integrado no simulador de condução.

No Anexo A é descrito um modelo para geração de imagens infravermelhas realistas aplicável a um ambiente tridimensional. No entanto, dada a complexidade da obtenção dos valores físicos sobre radiações envolvidos e também a carga computacional necessária para o processamento do algoritmo, constituíram limitações para a integração deste método para o sistema de visão nocturna no simulador de condução. Adicionalmente, a modelação do cenário urbano adoptada no simulador base de [Por06] é feita maioritariamente recorrendo a polígonos simples texturados constituindo uma limitação adicional para a integração do método descrito que é aplicado a modelos de objectos 3D.

A geração de imagens infravermelhas realistas com base num modelo de síntese é um tema complexo e constitui um potencial de exploração e implementação numa dissertação dedicada a este assunto.

A abordagem para a simulação da tecnologia de câmara térmica para o sistema de visão nocturna adoptada no simulador de condução seguiu uma metodologia simplista de mapeamento de cores em escala cinzenta para o cenário visual urbano.

Os vários objectos e texturas existentes no cenário foram pré-processados de acordo com o método de mapeamento de cor cinzenta, cuja intensidade varia de acordo com os objectos específicos a

representar e é baseada na observação de imagens térmicas geradas por sistemas semelhantes ao simulado e de câmaras térmicas.

Apesar de o método não permitir uma simulação muito realista da tecnologia, permite no entanto criar uma solução do sistema de visão nocturna suficientemente rápido e credível ao utilizador para o estudo de usabilidade.

Uma vez activado o sistema de visão nocturna pelo condutor, este acompanha-o continuamente. O sistema apresenta uma imagem nocturna de contraste a preto e branco na interface visual, onde os seres humanos e animais constituem os objectos mais claros. Para beneficiar da tecnologia, o condutor apenas tem de consultar o monitor, de forma a reconhecer uma situação de perigo.

Tal como no *Night Vision*, o sistema de visão nocturna não apresenta uma situação de tráfego detalhada, pois a inclusão de detalhes apenas constitui um atraso do reconhecimento do condutor de seres humanos através da interface visual. Esse aspecto levou à não inclusão da representação dos edifícios do cenário urbano na imagem apresentada pela interface do sistema. O condutor apenas é confrontado com aspectos relevantes, como o reconhecimento de pessoas, animais e a estrada.

Para um aumento de realismo na aplicação deste sistema, foi recriada no cenário a situação de condução num ambiente nocturno, apresentando como fonte única de iluminação os faróis do veículo. No entanto, devido à limitação da representação do cenário da estrada no simulador utilizado baseado em texturas, o grau de realismo da iluminação da estrada através dos faróis do carro foi afectado. Para aplicar a iluminação às texturas foi necessária a criação de uma grelha de normais para cada polígono de estrada. A aplicação de uma grelha de normais implica o aumento de polígonos processados e texturados, pelo que a densidade necessária da grelha de normais para a simulação da iluminação dos faróis constitui uma carga computacional elevada afectando gravemente o processamento global do programa. Para que o processamento do programa não fosse afectado optou-se por diminuir a densidade da grelha de normais, o que consequentemente diminuiu o realismo de iluminação.

5.2. Sistema de Head-Up Display

O sistema *Head-Up Display* desenvolvido e integrado no simulador de condução visa simular a tecnologia empregue no sistema de *Head-Up Display* da BMW apresentado no capítulo 2.2.7

Este sistema da BMW projecta informação relevante, tal como velocidade, indicações de direcção, avisos de avaria, ou definições de rádio, directamente no campo de visão do condutor no pára-brisas, não tendo o condutor de desviar o olhar da estrada. Este sistema tem por base aumentar a

segurança na condução, diminuindo significativamente o tempo de distração na leitura da informação.

O *Head-Up Display* da BMW é baseado numa tecnologia de um ecrã TFT com resolução de 65000 pixéis onde é criada a imagem a ser projectada. Este ecrã é iluminado por uma fonte de luz cujos raios são desviados por vários espelhos, projectando por fim uma imagem visual no para brisas com dimensões de 18x9 centímetros. As seguintes figuras 5.3 e 5.4, apresentam a interface do sistema de *Head-Up Display* da BMW e a simulação deste sistema integrado no simulador de condução.



Figura 5.3: Interface do *Head-Up Display* da BMW



Figura 5.4: Interface do *Head-Up Display* no simulador de condução

5.2.1. Simulação da tecnologia

Dado que neste trabalho se pretendeu testar a usabilidade da interface visual de um sistema de *Head-Up Display* e não a implementação vasta de informação projectada, foi decidido o desenvolvimento do sistema simulado com um número reduzido de informação disponível para a sua

projecção. Neste sistema, as mensagens que podem ser consultadas pelo utilizador através da interface visual contêm informações de velocidade, rotação por minuto e indicação de direcção.

A simulação da tecnologia é baseada na apresentação de uma imagem translúcida de cor alaranjada na janela de visualização do simulador, localizada no pára-brisas do veículo na vista do condutor do interior do veículo.

A informação de indicação de direcção exibida na interface do sistema, pretende simular o princípio de um GPS. No entanto dadas as limitações da tecnologia de simulação, as indicações de direcção restringem-se a informar o condutor com alguma antecedência das direcções que pode seguir no cenário face à sua localização actual.

5.3. Sensores de detecção de aproximação

Uma funcionalidade que foi acrescida ao simulador de condução foi a de sensores de detecção de aproximação.

Este sistema possui dois sensores. Um sensor dianteiro e um traseiro, que detectam respectivamente a aproximação do veículo a obstáculos à sua frente e traseira.

Em cada instante apenas um dos sensores é activado. Caso o condutor engate a marcha atrás é activado o sensor traseiro, caso contrário é activado o sensor dianteiro.

Quando os sensores integrados nos pára-choques do veículo detectarem dentro da sua área um obstáculo, é despoletado um sinal acústico que avisa o condutor da aproximação.

Mediante pesquisa de características de sensores de detecção de aproximação para veículos no mercado, foi estabelecida uma distância de detecção de 0,3 - 0,7 metros para o sensor dianteiro e 0,3 - 1,5 metros para o traseiro.

Este sistema visa evitar colisões a baixas velocidades, especialmente no processo de estacionamento traseiro paralelo, onde a visibilidade e a percepção de distância a obstáculos do condutor é mais reduzida.

5.4. Sistemas de estacionamento

Esta secção do relatório descreve a reprodução de dois sistemas de estacionamento distintos. O primeiro sistema apresenta um sistema de estacionamento dinâmico baseado na tecnologia da Volkswagen do *Park-Assist* descrito no capítulo 2.2.11. O segundo sistema integrado simula um sistema de assistência ao estacionamento manual baseado na tecnologia da Mercedes exposta no capítulo 2.2.10. A figura 5.5 apresenta as interfaces dos sistemas da Volkswagen e Mercedes que simuladas neste trabalho.



Figura 5.5: Sistemas de *Park Assist* (em cima) e de assistência ao estacionamento (em baixo).

Antes de expor os sistemas de estacionamento desenvolvidos, segue-se uma descrição de alguns métodos e funcionalidades adicionais integradas no simulador de condução para auxílio do utilizador na operação destes sistemas.

Devido à limitação de visualização de 360º do condutor e da sensibilidade diferente do dispositivo do acelerador no simulador, face a um veículo real, foram adicionadas e ajustadas algumas funcionalidades.

Para aumentar o ângulo de visão do condutor, foi adicionada uma câmara à cena que acompanha o veículo visto de cima. Quando o condutor activa qualquer um dos sistemas de estacionamento, é apresentada uma janela de visualização que exhibe uma visão do veículo visto de cima, assim como uma fracção limitada do ambiente envolvente, podendo o condutor acompanhar todo o processo de detecção de lugares e de estacionamento.

Também, dado a sensibilidade do acelerador no simulador, que dificulta a condução a baixas velocidades, foi decidido limitar a velocidade máxima do veículo ao activar os sistemas de estacionamento. Desta forma a usabilidade do sistema desenvolvido é aumentada, pois evita a desactivação automática do sistema, devido ao excesso de velocidade ao permitido na aplicação.

Também facilita a tarefa de estacionamento do condutor, tendo este apenas que se preocupar com o manuseamento correcto do sistema, e não com o ajuste e adaptação da velocidade.

Como os sistemas de estacionamento integrados no simulador de condução são baseados em características tecnológicas dos sistemas mencionados, foram consideradas várias características destas no desenvolvimento das aplicações nas suas Interfaces (figura 5.2.), modelo sensorial e controlo do veículo. As seguintes secções descrevem as Interfaces dos sistemas de estacionamento automático e de assistência ao estacionamento e o seu modo de comunicação com o utilizador.

5.4.1. Sistema de estacionamento automático

O sistema de estacionamento automático desenvolvido e integrado no simulador de condução é uma simulação do sistema *Park Assist*. A secção seguinte especifica o funcionamento da aplicação e da comunicação da sua interface com o utilizador.

Quando o sistema de estacionamento é activado, é apresentada uma imagem num visor por cima do velocímetro que indica que o sistema está activo. Os sensores integrados lateralmente no veículo procuram permanentemente a uma distância de 2,7 a 3,7 metros paralelamente ao passeio por espaços de estacionamento adequados, à esquerda ou à direita, de acordo com o lado de detecção indicado pelo condutor.

Assim que o sistema detecta um espaço de estacionamento potencialmente adequado, tal é sinalizado opticamente no visor, a interface. Quando o veículo se encontrar na posição ideal perante esse espaço, tal é sinalizado na interface do sistema. É apresentada uma imagem com uma seta, indicando ao condutor que pode iniciar a manobra. Tudo o que o condutor agora necessita de fazer, é de engatar a marcha atrás, para que o sistema intervenha automaticamente na direcção, acelerar, e travar quando terminada a intervenção no volante que é igualmente indicada visualmente na interface. Após este processo o condutor apenas necessita de terminar a manobra manualmente, engatando a primeira mudança e ajustando a posição do veículo à sua vontade.

Para complementar o processo de estacionamento os sensores de detecção de aproximação descritos na secção 6.3 encontram-se activos, despoletando um sinal acústico em situações de aproximação a outros veículos na dianteira ou traseira. A activação destes sensores permite aumentar a percepção do condutor das distâncias quando efectua a manobra de estacionamento entre dois veículos tendo conhecimento de quando deve travar para não colidir.

A figura 5.6 demonstra o funcionamento do sistema de estacionamento desenvolvido e apresenta os passos principais de comunicação da interface visual com o condutor.



Figura 5.6: Processo de estacionamento paralelo com o sistema de estacionamento automático no simulador

5.4.2. Sistema de assistência ao estacionamento

Esta secção apresenta o sistema de assistência ao estacionamento desenvolvido e respectiva interface para a comunicação visual com o condutor.

A aplicação do sistema de assistência ao estacionamento integrada no simulador visa reproduzir o sistema equivalente comercializado pela Mercedes. Como tal a comunicação visual da interface deste sistema com o condutor segue a mesma abordagem do sistema da Mercedes descrito no capítulo 2.2.10.

Este sistema de estacionamento segue a mesma metodologia que o sistema de estacionamento automático atendendo à detecção e calculo de lugares válidos e o algoritmo de estacionamento utilizado. A diferença primordial deste sistema comparativamente ao estacionamento automático é que, em lugar de intervir autonomamente no volante, dá instruções ao condutor de como proceder manualmente com a direcção para efectuar o estacionamento da melhor forma.

Tal como no sistema de estacionamento automático para completar o processo de estacionamento os sensores de detecção de aproximação encontram-se activos para aumentar a percepção do condutor das distâncias entre veículos durante o estacionamento.

A figura 5.7 demonstra o funcionamento do sistema de estacionamento desenvolvido e apresenta os passos principais de comunicação da interface visual com o condutor.



Figura 5.7: Processo de estacionamento paralelo com o sistema de assistência ao estacionamento no simulador

5.4.3. Simulação da tecnologia em trabalhos relacionados

Os veículos autónomos têm atraído a atenção de um grande número de investigadores, devido ao desafio que este domínio propõe: dotar sistemas com capacidades de raciocínio inteligente e de interacção com o meio em que estão inseridos. Os veículos autónomos podem perceber o ambiente em que estão inseridos através da leitura de seus sensores, e através desta percepção sensorial eles podem planejar melhor as suas acções.

O controlo do movimento autónomo para o estacionamento de um veículo não holonómico, como um carro, apresenta o problema geral de dirigir o veículo a partir de um ponto arbitrário para um específico.

Investigações corrente relacionadas com o controlo de movimento de veículos não holonómicos atendem a abordagens que podem ser categorizadas em dois grupos principais.

A primeira abordagem baseia-se na estabilização do veículo para um ponto como reacção ao estado corrente. A segunda abordagem é baseada no planeamento de um possível percurso para atingir o ponto requerido e, subsequentemente, seguir esse trajecto. Requisitos para o bom funcionamento de ambas as abordagens consistem na utilização de modelos cinemáticos e dinâmicos exactos do veículo e do seu ambiente. No entanto, há parâmetros do veículo que são desconhecidos ou incertos. Para além dos requisitos referidos, a abordagem baseada na resposta ao estado, necessita do conhecimento da localização exacta do veículo durante todo o movimento. A abordagem do planeamento de uma trajectória tem de resultar num percurso de referência possível de ser percorrido pelo veículo.

[Par04] e [Plau06] propõem uma abordagem para o estacionamento autónomo baseada na combinação de ambas as abordagens anteriormente referidas. A ideia chave consiste num procedimento de controlo de movimento que envolve um ciclo de execução de localização e de planeamento repetido até que a localização pretendida do veículo relativamente ao seu ambiente seja atingida.

5.4.3.1. SEVA3D

Estudos relativos ao estacionamento de veículos de forma autónoma têm sido realizados por diversos investigadores, quais destacam os estudos e trabalhos desenvolvidos pelo grupo de inteligência artificial do PIPCA, focando especialmente o desenvolvimento do sistema SEVA3D (Simulador de Estacionamento de veículos autónomos num ambiente tridimensional). Este sistema foi considerado relevante para este trabalho, devido à semelhança das suas funcionalidades de simulação de um estacionamento paralelo num ambiente 3D com as desenvolvidas nos sistemas de estacionamento automático e de assistência ao estacionamento neste trabalho.

[HO06] descreve o sistema SEVA3D, responsável pela automatização da tarefa de condução de um veículo, que visa um controlo robusto capaz de simular de modo realista a acção de estacionar um veículo num lugar paralelo. Este sistema é baseado no sistema SEVA (Simulador de Estacionamento de Veículos Autónomos), que realiza a tarefa de estacionar um robô não holonómico num lugar paralelo. Este sistema utiliza um planeamento bidimensional (2D) no qual um veículo equipado com seis sensores é controlado através do uso de um autómato finito ou através de uma rede neuronal. O

SEVA3D adaptou o SEVA para a simulação num ambiente tridimensional (3D), que realiza a tarefa de estacionamento de um veículo utilizando um modelo de ambiente e de sensores tridimensional, estando portanto mais próximo da realidade. A movimentação do veículo respeita o modelo de cinemática de *Ackermann* de um veículo.

A abordagem utilizada neste trabalho para o estacionamento paralelo baseia-se na utilização da combinação dos dois métodos, o de planeamento da trajectória e a resposta à localização do veículo perante o seu ambiente e controlo do veículo baseado num estado finito.

As secções seguintes descrevem a concepção da abordagem de controlo de movimento adoptada para a simulação de um estacionamento paralelo realista. Para a adaptação desta abordagem foi necessário considerar aspectos da física do veículo anteriormente negligenciados, respectivamente aos eixos e ângulos de viragem das rodas necessários para o modelo cinemático de *Ackermann* adoptado.

5.4.4. Simulação da tecnologia

5.4.4.1. Modelo Sensorial

Esta secção descreve a metodologia aplicada na detecção de lugares de estacionamento paralelos para ambos os sistemas de estacionamento. A detecção de lugares é baseada numa tecnologia de sensores integrados lateralmente no veículo capazes de estimar a distância a objectos próximos. Os sensores sonar simulados permitem estimar a distância entre o veículo e os obstáculos presentes no ambiente, como por exemplo, outros veículos estacionados e a borda do passeio.

No entanto, dada a limitação da simulação do cenário da estrada seguida no simulador [Por06], que utiliza uma representação bidimensional baseada em polígonos de quatro vértices texturados, encontra-se dificultada a tarefa de detecção de distância do veículo ao passeio pois não existe o parâmetro de altura.

A solução adoptada neste trabalho para a limitação anterior foi a de definir caixas de colisão para as zonas das texturas que representam o passeio. Desta forma é possível detectar a distância do veículo ao passeio mediante colisão entre os sensores e o passeio.

Os sensores procuram permanentemente, a uma distância de 2,7 a 3,7 metros paralelamente ao passeio, espaços de estacionamento com dimensões adequadas, à esquerda ou à direita, de acordo com o lado de detecção indicado pelo condutor.

Para que um lugar de estacionamento seja considerado válido, ele tem que possuir em comprimento superior ao do veículo. Na aplicação e algoritmo de estacionamento desenvolvido considerou-se a diferença de comprimento do lugar de estacionamento face ao veículo como sendo no mínimo de

1,9 metros (0,95 metros de margem à frente a atrás do veículo). A tabela 5.1 apresenta as dimensões utilizadas na simulação para o veículo e as dimensões mínimas para um lugar de estacionamento válido.

	Veículo	Lugar de estacionamento
Comprimento	4 metros	5,9 metros
Largura	1,79 metros	2,2 metros

Tabela 5.1: Dimensões consideradas neste trabalho para o veículo e o mínimo de para um lugar de estacionamento válida para efectuar uma manobra de estacionamento do veículo.

Como referido anteriormente os sensores integrados têm uma distância de detecção de 2,7 a 3,7 metros paralelamente ao passeio e, dado que um lugar de estacionamento válido tem no mínimo 2,2 metros de largura, pode-se também definir, que o intervalo de detecção é de 0,5 a 1,5 metros da largura de um lugar de estacionamento válido. A figura 5.8 esquematiza o método de distância de detecção aplicada para os sensores. Os valores para o intervalo de detecção foram estabelecidos baseados na abordagem adoptada no *Park-Assist* onde os sensores laterais detectam a uma distância de 0,5 a 1,5 metros de outros veículos estacionados espaços de estacionamento adequados paralelos à faixa de rodagem.

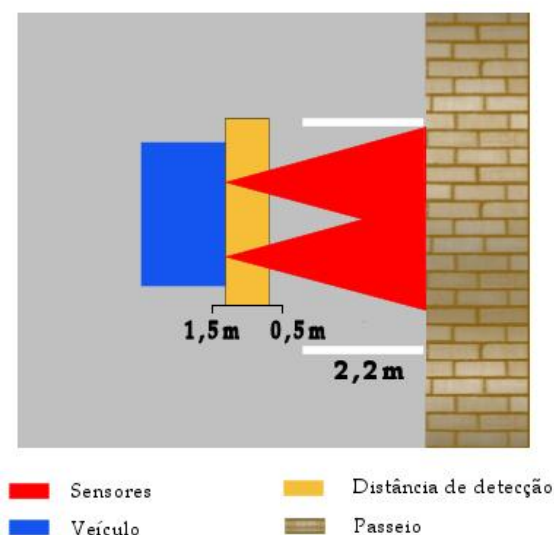


Figura 5.8: Representação do modelo sensorial e do limite de detecção válido (a laranja) para as vagas de estacionamento paralelas ao passeio.

5.4.4.2. Modelo cinemático

O movimento do veículo a baixa velocidade no simulador respeita o modelo cinemático de *Ackermann*. Este modelo é seguido portanto em ambos os sistemas de estacionamento. Neste

modelo um veículo é representado por um volume rectangular suportado por quatro rodas, onde as rodas traseiras possuem um eixo fixo e as rodas dianteiras podem ser direccionadas, através do volante.

A geometria de Ackermann consiste num arranjo geométrico de ligações de um carro ou outro veículo, projectado para resolver o problema do trajecto das rodas interiores e exteriores em curva. Quando um veículo é manobrado, segue um caminho que é parte de uma circunferência cujo centro estará algures na linha que se estende a partir do eixo fixo. Este centro denomina-se centro próprio de viragem e depende de quão viradas estão as rodas. As rodas viradas têm que estar com um ângulo tal que façam ambas um ângulo de 90° com a linha que uma o centro próprio de viragem com o centro da roda. Como a roda exterior à curva vai percorrer uma circunferência maior que a roda interior à curva, as rodas têm que estar dispostas em ângulos diferentes uma em relação à outra [Wiki].

Apesar dos carros modernos não usarem 100% *Ackermann* dado que ignora dinâmicas e efeitos importantes, o princípio é válido para manobras a baixa velocidade, como o caso do movimento de estacionamento. A figura 5.9 apresenta os elementos do modelo cinemático e da geometria de *Ackerman*

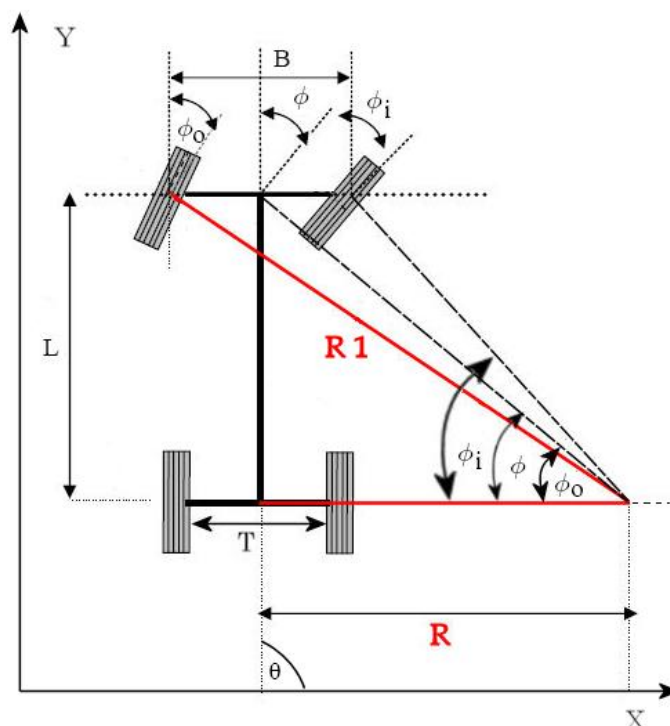


Figura 5.9: Modelo cinemático e geometria de *Ackermann*.

A localização do veículo (posição e orientação) relativo a um sistema de coordenadas de referência é denotada por $q = (x, y, \theta)^T$ onde $x = x(t)$ e $y = y(t)$ são as coordenadas do ponto médio do eixo traseiro T, $\theta = \theta(t)$ é a orientação do veículo e t é o tempo. O movimento do veículo é descrito pela seguinte equação:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \phi \cos \theta, \\ \dot{y} = v \cos \phi \sin \theta, \\ \dot{\theta} = \frac{v}{L} \sin \phi, \end{cases} \quad (1)$$

Onde $\phi = \phi(t)$ é o ângulo de direcção, $v = v(t)$ é a velocidade do ponto médio do eixo dianteiro B, e L é a distância entre os eixos. O ângulo de direcção e velocidade são dois comandos de controlo (ϕ, v) . A equação (1) corresponde a um sistema com restrições não holonómicas porque envolvem a derivada das coordenadas do veículo e não são integráveis [HO06].

Admitindo uma configuração de geometria na figura 5.9, em que as rodas do veículo se encontram nos seus ângulos máximos de direcção, em que R_1 representa respectivamente o raio mínimo do círculo descrito pelas rodas exteriores e conhecendo as dimensões de L , B , T e R_1 é possível calcular os ângulos máximos de viragem admitidos para as rodas dianteiras (ϕ_o, ϕ_i e ϕ sendo a média) e também o raio de viragem mínimo do veículo R através das seguintes equações:

$$B \approx T \quad (2)$$

$$\sin \phi_o = \frac{L}{R_1} \quad (3)$$

$$\tan \phi_o = \frac{L}{R + \frac{T}{2}} \quad (4)$$

$$\tan \phi = \frac{L}{R} \quad (5)$$

$$\tan \phi_i = \frac{L}{R - \frac{T}{2}} \quad (6)$$

A partir da equação (3) obtêm-se o ângulo máximo de viragem da roda exterior $\phi_o = \sin^{-1} \frac{L}{R_1}$. Conhecendo o ângulo máximo de viragem da roda exterior pode-se calcular a partir da equação (4) o raio mínimo da circunferência do movimento do veículo $R = \frac{L}{\tan \phi_o} - \frac{T}{2}$.

Usando as equações anteriores, obtêm-se a partir da equação (5) o valor máximo para o ângulo de direcção $\phi = \tan^{-1} \frac{L}{R}$ e a partir da equação (6) o ângulo máximo $\phi_i = \tan^{-1} \frac{L}{R - \frac{T}{2}}$.

Para a integração do modelo cinemático de *Ackermann* no movimento de estacionamento do modelo tridimensional do veículo utilizado no simulador, foram admitidos valores de B , T , L e R_1

baseado nas características de um veículo real com dimensões semelhantes às do modelo 3D descritas na tabela 5.2.

A tabela 5.2 apresenta um excerto da ficha técnica de um Fiat 500 1.3 Multijet 16V, disponível no Anexo B: *Ficha técnica do FIAT 500*, contendo os valores das dimensões dos seus eixos e diâmetro de viragem, que foram considerados neste trabalho para o veículo no simulador.

Comprimento/Largura/Altura	3546/1627/1488 mm
Diâmetro de viragem (2xR1)	9,2 m
Distância entre eixos (L)	2300 mm
Via frente (B)	1413 mm
Via trás (T)	1407 mm

Tabela 5.2: Excerto da ficha técnica de um *Fiat 500 1.3 Multijet 16 V*.

Usando os dados da tabela 5.2 nas equações anteriormente descritas para cálculo obtêm-se os ângulos máximos de direcção permitidos para um veículo com as características de eixos descritas. A tabela 5.3 apresenta os valores máximos arredondados de $\emptyset_o, \emptyset, \emptyset_i$ e R calculados para o veículo utilizado na simulação.

$\emptyset_o \approx 28,64^\circ$
$\emptyset \approx 32,98^\circ$
$\emptyset_i \approx 38,6$
$R \approx 3,914 \text{ m}$

Tabela 5.3: valores calculados para os ângulos máximos e raio de direcção do veículo simulado baseado nos dados da tabela 5.2

Na tabela anterior pode-se observar os valores máximos admitidos na simulação de condução ao direccionar o dispositivo do volante. Quando o condutor roda o volante até ao limite numa direcção, implica que o ângulo de direcção varia no intervalo $[-\emptyset, \emptyset]$, ou seja $[-32.98^\circ, 32.98^\circ]$.

5.4.4.3. Controlo do veículo

O veículo é controlado por actuadores simulados. Estes actuadores controlam a velocidade máxima permitida durante o manuseamento do sistema de estacionamento e a direcção do veículo. A

deslocação do veículo no processo de estacionamento automático é obtida no simulador enviando comandos para os actuadores que controlam a velocidade v e a rotação do volante $\varnothing$. A deslocação do veículo no sistema de assistência segue o mesmo procedimento, com a diferença que a rotação $\varnothing$ não é apresentado como ângulo requerido de rotação a ser atingido pelo condutor para a manobra.

Para mudar a orientação do veículo, o ângulo de direcção $\varnothing$ pode ser submetido a valores de 0° a $32,98^\circ$ ou de $-32,89^\circ$ a 0° conforme se trata de um estacionamento no lado direito ou esquerdo. Quando o veículo necessitar de mudar para a direcção inversa $\varnothing$ assume o valor inverso.

Tal como o sistemas de simulação SEVA3D em [HO06], o controlo do veículo no simulador é baseado autómato finito. A figura 5.10 mostra o diagrama de estados do autómato finito usado no SEVA3D e adaptado para o controlo do veículo simulado neste trabalho.

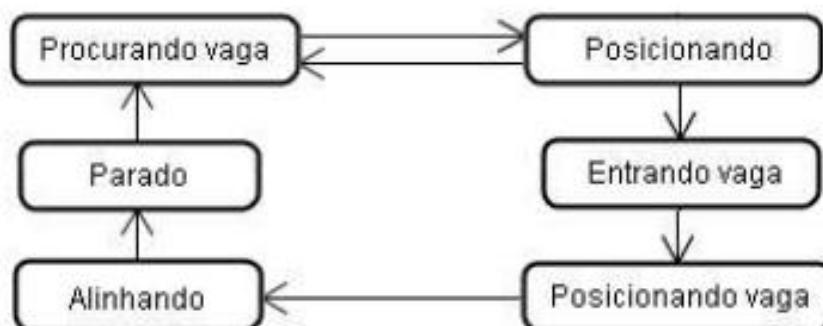


Figura 5.10: Estados do autómato para o controlo do veículo no sistema de estacionamento.

Os seguintes estados foram definidos:

Parado: Estado inicial e final do autómato

Procurando vaga: Início da manobra de estacionamento, quando o veículo se desloca para a frente a uma distância de 2,7 a 3,7 metros paralelamente ao passeio à procura de lugares livres e de dimensão adequada. Caso um potencial lugar de estacionamento seja encontrado, o estado avança para o estado *Posicionando*.

Posicionando: O veículo desloca-se para a frente, até atingir a posição ideal para iniciar a manobra de recuo para dentro da vaga aceitando uma margem de avanço desta até 0,5 metros. Caso o limite de avanço à posição ideal seja transgredida o estado volta a *Procurando vaga*.

Entrando vaga: O veículo começa a recuar até a posição ideal e o volante é rodado até ao seu máximo para a esquerda ou direita, conforme o lado de estacionamento escolhido. Os valores de $\varnothing$ e v adquirem valores empiricamente predefinidos, sendo esses valores de $-32,98^\circ$ ou $32,98^\circ$ para $\varnothing$ e 0

a um limite máximo para ν . Quando o veículo atinge uma orientação predefinida o estado avança para *Posicionando vaga*.

Posicionando vaga: Neste estado o veículo continua a recuar, mas o volante é rodado para a direcção oposta. Quando o veículo atingir uma orientação predefinida a intervenção do sistema termina e avança para o estado *Alinhando*.

Alinhando: Neste estado o condutor desloca o veículo para a frente, ajustando a posição do veículo de modo finalizar a manobra de estacionamento.

Os valores de posição ideal para iniciar a manobra de recuo, orientação limite para alterar o sentido da direcção e terminar o processo de estacionamento abordados nos estados do autómato, foram calculados mediante um método de planeamento de trajectória. O método de planeamento do percurso a ser percorrido pelo veículo na manobra de estacionamento paralelo é apresentado na figura 5.11 e definido com base na distância do veículo ao lugar e num troço da circunferência de raio R calculado através do valor máximo de δ definido pela geometria de Ackermann.

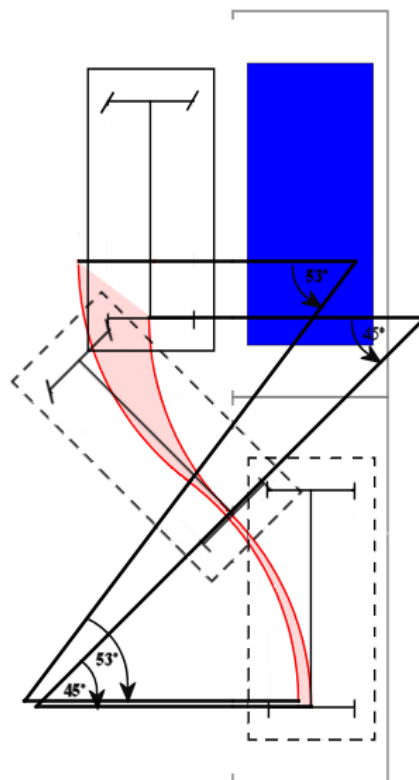


Figura 5.11: Limite da trajectória de estacionamento baseado na distância paralelamente ao lugar de estacionamento.

No estado *Posicionando* a posição ideal para iniciar a manobra de recuo é atingido quando o veículo atinge a seguinte posição no sistema de coordenadas.

$$Posição\ ideal = (2,7 + \frac{T}{2} + D, comprimento\ do\ lugar + 1 + D \times 0,8)$$

D é definido como sendo a distância do veículo à distância mínima permitida pelo sistema de um lugar de estacionamento considerado válido (2,7 metros). Dado que a distância máxima de detecção paralela de lugares de estacionamento ocorre a 3,7 metros do passeio, D é definido no intervalo $0 \leq D \leq 1$.

Quando o controlo do veículo se encontra no estado *Entrando vaga*, ele segue um troço de uma circunferência de raio R definida pelo $\emptyset$ máximo até que seja atingida uma orientação global do veículo acrescida de um ângulo definido pela seguinte fórmula:

$$\hat{Angulo} = 45^\circ + D \times 8$$

O controlo do veículo avança para o estado *Posicionando vaga* e percorre o mesmo troço da circunferência anteriormente definida com a direcção inversa até que tenha sido atingida uma orientação global do veículo decrescida do ângulo acrescido no estado anterior do autómato. A posição final do trajecto de estacionamento é atingida, terminando o controlo do sistema da rotação do volante.

6. Configuração e protocolo experimental

6.1. Configuração

A experiência foi realizada no Laboratório de Visualização Gráfica Avançada no IST, usando o simulador originalmente desenvolvido por [Por06], e agora melhorado com vista aos objectivos do trabalho com a sua integração dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor descritos no capítulo 5, para a realização do estudo de usabilidade.

6.1.1. Características dos percursos

Para um maior realismo da simulação de condução utilizando sistemas de segurança e de assistência foram adicionados novos elementos ao cenário visual do simulador, anteriormente descritos no capítulo 4, e criadas situações específicas no cenário frequentemente encontradas num ambiente de condução real. As situações de condução adicionadas permitem aumentar a validade dos dados obtidos através dos testes, para o estudo de usabilidade e segurança dos sistemas desenvolvidos e incluem as seguintes características:

1. Percursos predefinidos para a circulação de peões
2. Opção do cenário onde os percursos são efectuados num ambiente nocturno
3. Locais específicos de percursos onde existem lugares de estacionamento delimitados e outros veículos estacionados

As primeiras duas situações acrescidas ao cenário permitem situar o condutor num ambiente nocturno onde a visibilidade deste para a detecção de peões é mais reduzida. Ao colocar o condutor num percurso frequentado por peões, é recreada uma situação potencialmente perigosa onde o condutor pode beneficiar da utilização do sistema de visão nocturna para a detecção antecipada de obstáculos e um aumento de segurança.

A terceira situação permite recrear uma situação de estacionamento dificultada para o condutor, na qual é requerido que este efectue um estacionamento paralelo entre dois outros veículos parados num espaço reduzido (mas suficientemente comprido). No processo de estacionamento descrito o condutor pode beneficiar com a utilização dos sistemas de estacionamento desenvolvidos conjuntamente com o sistema de sensores de detecção de aproximação para um estacionamento correcto e livre de colisões.

Por fim, para a utilização do sistema de *Head-Up Display* não foi recreada nenhuma situação específica, uma vez que a sua característica principal de emprego é a consulta de informação pelo

condutor. A tarefa determinada para este sistema é portanto efectuada num percurso livre à escolha do condutor.

6.2. Protocolo

Esta secção descreve o protocolo seguido para os testes de usabilidade, incluindo detalhes sobre os intervenientes, os papéis de cada participante nos testes de usabilidade, as tarefas a serem desempenhadas com os sistemas integrados, métricas de desempenho e critérios de usabilidade.

6.2.1. Participantes

A experiência foi realizada com 17 indivíduos, de ambos os sexos e divididos em duas categorias.

- Condutores mais novos: Inclui indivíduos com menos de 40 anos e menos de 20 anos de experiência de condução;
- Condutores mais velhos: Inclui indivíduos com idade superior a 40 anos e com mais de 20 anos de experiência de condução.

A divisão dos indivíduos de acordo com as características acima indicadas é baseada em pesquisas efectuada e aplicadas em [Por07] onde é descrito que a idade e experiência de condução do condutor, pode influenciar o seu desempenho de condução quando considerando distracção na execução simultânea de outras tarefas.

A informação relativa ao utilizador foi recolhida num inquérito apresentado ao utilizador após a realização da experiência, e que pode ser visualizada no Anexo C: *Inquérito para os testes de usabilidade*. Uma análise mais detalhada sobre os intervenientes da experiência pode ser encontrada no capítulo seguinte.

6.2.2. Papéis

Cada teste foi conduzido com o envolvimento de duas pessoas de diferentes papéis: Um utilizador voluntário na tarefa de condução do simulador e um examinador que controlou vários aspectos desta tarefa. O papel do examinador foi desempenhado pelo autor deste trabalho em todas as experiências. O papel do condutor inclui a condução do veículo no simulador nos percursos predefinidos e livres. Simultaneamente este tem outras responsabilidades, tais como:

- Desempenhar certas tarefas usando os sistemas quando instruídas pelo examinador
- Estar atento ao ambiente de condução
- Cumprir as regras de trânsito

Enquanto o condutor efectua a experiência de condução no simulador, o examinador efectua algumas perguntas e instrui o condutor para efectuar certas tarefas de utilização dos vários sistemas de segurança e de assistência em determinados locais predefinidos do percurso, descritos no Anexo D: *Percursos definidos para os testes de usabilidade aos sistemas*

6.2.3. Procedimento

O procedimento para os testes de usabilidade consiste em três fases: Uma fase de introdução, na qual o utilizador fica a conhecer o simulador de condução, uma fase de teste formal, na qual o condutor é avaliado quanto ao seu desempenho, e uma fase de inquérito, na qual o utilizador preenche um inquérito sobre a sua noção do seu desempenho durante a experiência de usabilidade.

A fase de introdução consiste em duas etapas. Numa primeira etapa, é instruído ao utilizador de como operar os vários sistemas de segurança e de assistência ao condutor. É efectuada uma demonstração prática pelo examinador sobre o manuseamento do simulador de condução e a interacção e funcionamento de cada sistema. Numa segunda etapa o condutor ambienta-se, ao comportamento físico do volante e pedais num percurso livre no cenário urbano, assim como à interacção dos sistemas existentes, a fim de confirmar o conhecimento deste a cerca do funcionamento dos sistemas adquirido na etapa de demonstração. O condutor só prossegue à fase formal de testes seguinte quando este atingir um grau de confiança suficiente quanto às suas capacidades de condução e habilidade conveniente de operar os vários sistemas

A fase formal de testes é dividida em dois percursos principais como mencionado na secção anterior. Em cada percurso pretende-se colocar o condutor numa situação específica de condução, na qual o utilizador desempenha certas tarefas e comparar o seu desempenho e comportamento numa situação idêntica com os sistemas de segurança e de assistência ao condutor.

A terceira fase do procedimento consiste no preenchimento do utilizador de um questionário a cerca da sua opinião da experiência conduzida.

6.2.4. Tarefas para os vários sistemas

Foram utilizados dois conjuntos de tarefas durante a experiência. Os mesmos conjuntos foram usados igualmente e pela mesma ordem para todos os utilizadores, a fim de evitar diferenças de desempenho envolvendo as várias tarefas. O primeiro conjunto de tarefas definidas não inclui a utilização dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor e inclui:

- Consultar a velocidade do veículo no velocímetro
- Conduzir num ambiente nocturno
- Estacionar paralelamente entre dois veículos

O Segundo conjunto de tarefas segue as mesmas características que as anteriormente definidas, mas inclui a utilização adicional dos sistemas de segurança e de assistência ao condutor. Este conjunto de tarefas inclui:

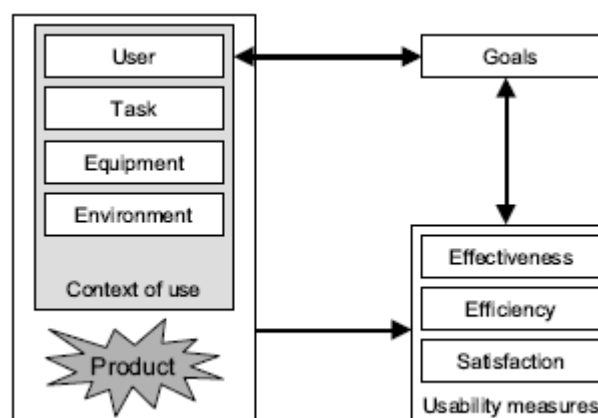
- Activar o *Head-Up Display* e consultar a velocidade do veículo
- Activar o sistema de visão nocturna
- Activar o sistema de estacionamento automático e estacionar entre dois veículos
- Activar o sistema de assistência ao estacionamento e estacionar paralelamente entre dois veículos

Uma lista das tarefas, assim como e onde são desempenhadas está disponível no Anexo E: *Formulário do examinador*.

6.2.5. Critérios de Usabilidade

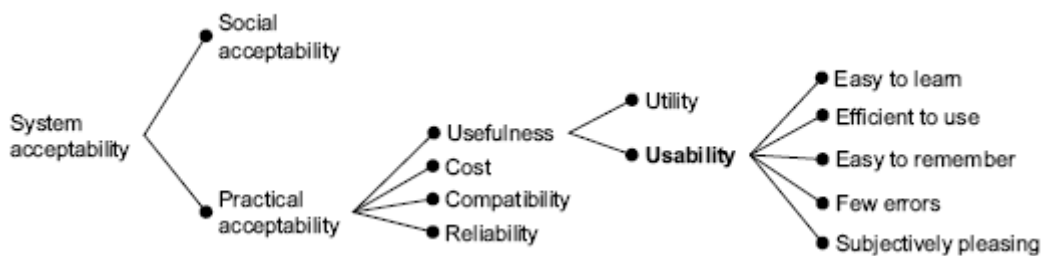
A norma ISO 9241-11 define usabilidade como sendo o âmbito para o qual um produto pode ser usado por utilizadores específicos para atingir objectivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação num contexto de utilização específico. Assim de acordo com a norma ISO os critérios de usabilidade são a eficácia, eficiência e satisfação, que numa situação de avaliação podem ser medidas quantitativas.

A eficácia pode ser medida através da precisão com a qual os utilizadores conseguem concluir as tarefas especificadas. A eficiência, por outro lado, pode ser medida através dos recursos gastos pelos utilizadores para concluírem as tarefas especificadas. A satisfação é medida de acordo com o conforto experienciado pelos utilizadores e a sua aceitação pelo sistema [NS04]. A figura 6.1 apresenta a estrutura de usabilidade da ISO.



6.1: Estrutura de usabilidade da ISO (ISO 1998)

[JN93], por outro lado, define usabilidade como sendo uma característica do produto. Este faz uma distinção clara entre utilidade e usabilidade. Na sua definição de usabilidade, utilidade denota a funcionalidade correcta, enquanto a ISO 9241 vê a funcionalidade correcta como uma das medidas de usabilidade sob forma de eficácia. Nielsen define usabilidade como um atributo de qualidade de cinco dimensões do sistema. Estas dimensões são: aprendizagem, eficiência, memorização, prevenção de erros e satisfação [NS04]. A figura 6.2 apresenta o modelo de Nielsen da aceitabilidade e usabilidade de um sistema como sendo um atributo.



6.2: Modelo de Nielsen da aceitabilidade e usabilidade como atributos de um sistema

Um requisito ergonómico para conceitos de controlo é de ter que satisfazer critérios de usabilidade, isto é, os critérios que garantem o nível mais elevado possível de usabilidade. Um dos principais benefícios esperados de sistemas inteligentes de assistência ao condutor é que deve aliviar o condutor de tarefas rotineiras. Para tal têm de satisfazer os critérios de compatibilidade, conformidade às expectativas do utilizador e consistência. Têm de ser compatíveis com os recursos do condutor e não devem provocar uma sobrecarga de informação. Sobre tudo, devem também fornecer *feedback* claro ao condutor, ser suficientemente sofisticados para executar as tarefas requeridas e ajudar quando necessário, expressando-se sempre de forma clara e permanecendo controláveis pelo condutor. Têm de ser de fácil aprendizagem e não propensos a erros. No entanto estes critérios têm áreas de intersecção [KL02].

A partir das duas definições de usabilidade e dos critérios apresentados em [KL02] para sistemas de assistência, foram seleccionados critérios de usabilidade para os sistemas de segurança e de assistência desenvolvidos neste trabalho. De acordo com os critérios estabelecidos prossegue-se à análise de usabilidade dos sistemas, para eventual identificação de problemas de usabilidade, e as influências da sua utilização em termos de segurança, desempenho e conforto de condução. Os critérios estabelecidos incluem:

- Eficácia: A precisão e conclusão com a qual os utilizadores efectuem as tarefas especificadas, analisando a distribuição de desempenhos de sucesso e erro das tarefas

- Eficiência de utilização: A adequação dos sistemas aos recursos do condutor, ou seja, os recursos gastos pelos utilizadores para a conclusão das tarefas, tais como, tempo, stress físico e carga cognitiva.
- Satisfação: O conforto experimentado pelo utilizador e a sua aceitação dos sistemas
- Redução de tarefas rotineiras: A capacidade do sistema reduzir uma tarefa rotineira do condutor
- Facilidade de aprendizagem: A facilidade com que o utilizador aprende a utilizar o sistema
- Compatibilidade: O conceito de controlo do sistema é compatível com experiências passadas com sistemas similares.
- Consistência: O sistema tem um conceito de controlo no qual tarefas de condução similares são tratadas de forma similar.
- Fornecimento de feedback: O fornecimento claro de informação do estado actual do sistema ao condutor
- Execução das tarefas requeridas: Capacidade do sistema executar correctamente as tarefas requeridas
- Controlável pelo utilizador: Capacidade de o sistema ser controlável pelo utilizador
- Propensão a erros: Quantidade de possíveis de acções incorrectas que os utilizadores podem efectuar
- Memorização: A habilidade de um utilizador casual conseguir usar o sistema

6.2.6. Métricas de desempenho

Durante a experiência, o comportamento dos utilizadores é quantificado através do recurso a um conjunto de medidas descritas nesta secção. Estas métricas têm por base classificar o desempenho do utilizador, quer no seu desempenho de condução, quer no seu desempenho de interacção com os sistemas de segurança e de assistência.

Para a medição do desempenho de condução do utilizador recorre-se à contabilização de erros cometidos por este na fase formal de testes. A associação do número de erros de condução ao local da sua ocorrência pode fornecer informação útil sobre os níveis de atenção prestada pelo condutor à estrada. Os erros são identificados como ocorrendo quando o utilizador está simplesmente a conduzir ou a desempenhar tarefas com ou sem a assistência dos sistemas. Os erros cometidos são classificados em duas categorias e incluem:

- Erros do tipo A: Erros que, numa situação no mundo real, poderiam comprometer a segurança rodoviária, mas que efectivamente não foi comprometida. Erros inseridos nesta categoria englobam: mudanças involuntárias de faixa de rodagem, desvio para a berma, curvas “cortadas” (executadas com mudança de faixa) e sinalização de trânsito não cumprida (sinais e semáforos)
- Erros do tipo B: Erros que, numa situação real, corresponderiam ao fim do teste. Erros inseridos nesta categoria englobam: colisões entre o veículo e os diversos obstáculos inseridos no cenário, tais como, pessoas, sinais, árvores ou prédios. Também se inserem nesta categoria erros de perda de controlo ou despiste do veículo.

O desempenho da conclusão da tarefa é medido de acordo com a precisão com a qual a tarefa é concluída. Ou seja, medindo a distribuição de desempenhos de erros e sucessos na execução das tarefas. O tempo para a conclusão de uma dada tarefa não foi contabilizado, dado que segundo [Por06] é conhecido que as tarefas com sistemas integrados têm um tempo de conclusão mais elevado. No *Anexo E: Formulário do Examinador* é apresentado o formulário utilizado na realização do teste formal.

7. Resultados e análise

Os resultados dos testes de usabilidade provêm das fontes de dados dos formulários do examinador e os inquéritos ao utilizador. Os primeiros dados foram recolhidos pelo examinador durante a fase de teste formal, através da observação às reacções e comportamentos dos utilizadores. Os restantes dados foram fornecidos pelos utilizadores e recolhidos através dos inquéritos, reflectindo a opinião deste acerca da experiência de teste. Os dados recolhidos permitem efectuar um conjunto diversificado de análises, considerando-se no entanto apenas as mais relevantes para o estudo específico de usabilidade e segurança das interfaces dos sistemas neste trabalho.

7.1. População de amostra

Os utilizadores destes testes de usabilidade incluem pessoas de ambos os sexos, com idades compreendidas entre os 20 e 58 anos e que possuem a carta de condução desde 1 a 35 anos. A figura 7.1 apresenta a distribuição da população de amostra por género e grupo de idade.

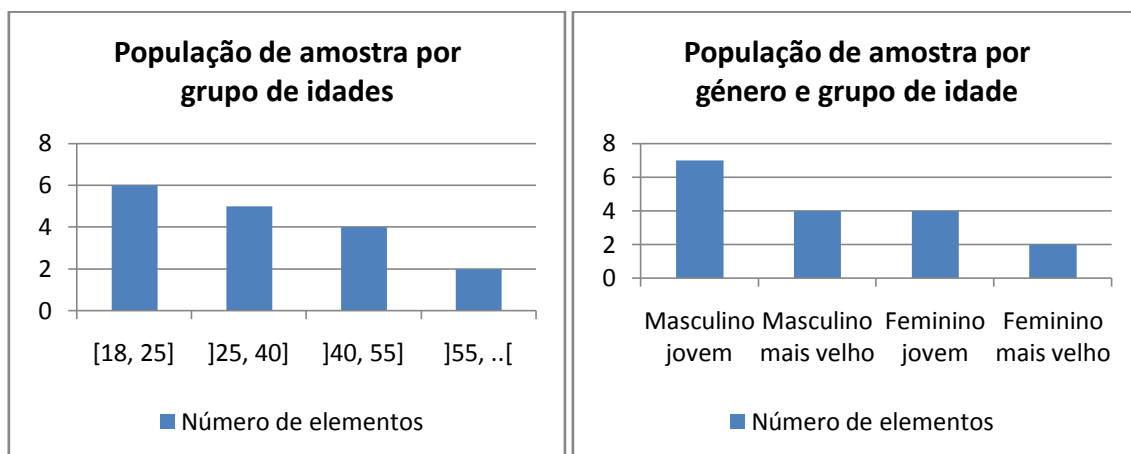


Figura 7.1: Distribuição da população por género e grupo de idade

São considerados dois grupos de idades: o grupo jovem foi constituído por 11 pessoas de idades entre os 20 e 34 anos com uma experiência de condução de 1 a 13 anos; dessas pessoas 7 eram do sexo masculino e 4 do feminino. O grupo de idade mais velha foi constituído por 6 pessoas de idades entre os 40 e 58 anos com uma experiência de condução de 17 a 33 anos; destas pessoas 4 eram do sexo masculino e 2 do feminino.

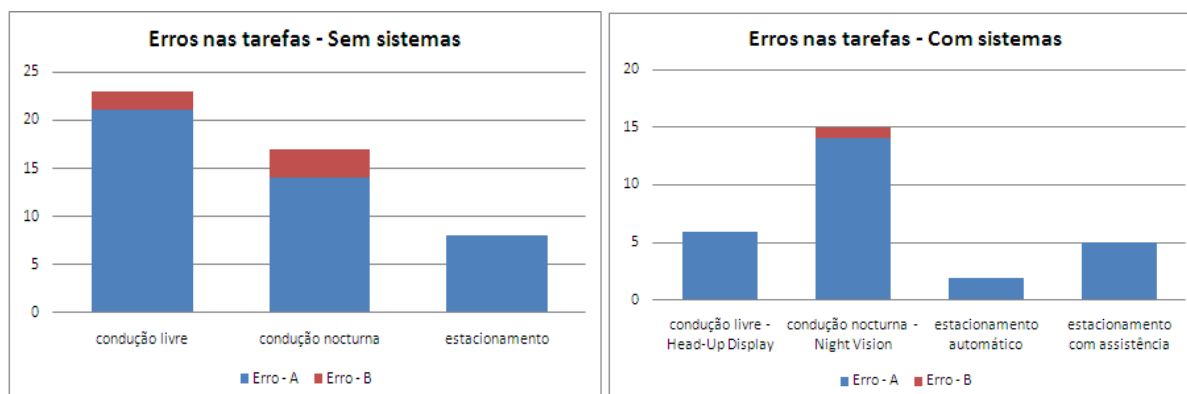
7.2. Comportamento do condutor

Esta secção apresenta as diferenças observadas nos testes respectivamente ao comportamento do condutor na execução de tarefas idênticas com e sem interacção dos sistemas de segurança e assistência ao condutor. A análise do comportamento do condutor é efectuada em termos dos erros

registados e o desempenho observado na conclusão das tarefas especificadas na realização durante os testes de usabilidade.

7.2.1. Erros e desempenho na conclusão das tarefas

Primeiro são analisados o número total e tipo de erros cometidos pelos utilizadores durante os testes de usabilidade. A figura 7.2 apresenta os gráficos do número total de erros do tipo A e B observados nas duas situações de condução simples e, condução com interacção simultânea das interfaces dos sistemas dadas as tarefas específicas para cada sistema em condições de percursos idênticas.



7.2: Número de erros cometidos pelos utilizadores nas tarefas com e sem interacção com os sistemas

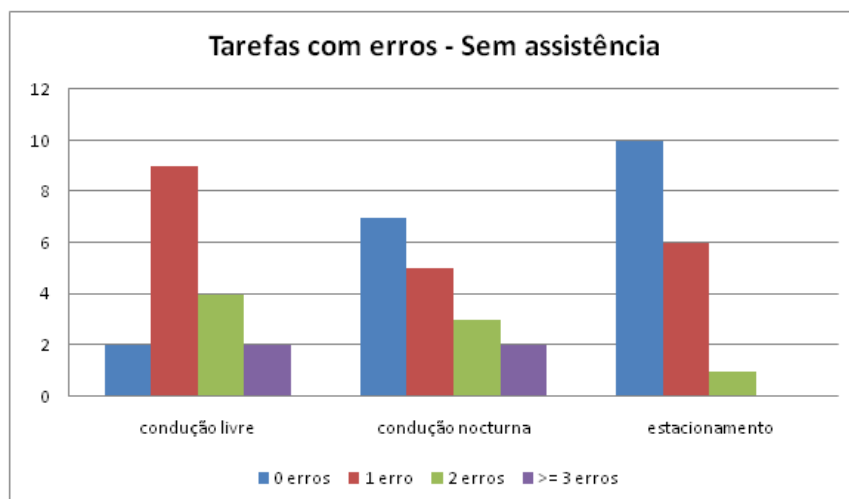
A figura 7.2 mostra que a maioria dos erros observados são erros do tipo A. Nas duas primeiras tarefas, condução livre e condução nocturna (com ou sem sistemas), estes erros compreendem-se como falhas de atenção. Falhas de atenção neste contexto, refere-se a elementos ou características do percurso que são esperados serem vistos pelo condutor, mas que não foram vistas ou não correctamente identificadas. Exemplos de falhas de atenção podem incluir não reparar num sinal de trânsito ou semáforos. Nas tarefas de estacionamento os erros do tipo A englobam pequenas colisões, quer no veículo dianteiro, quer no traseiro. Erros do tipo B apenas ocorreram nas tarefas de condução e englobam situações de colisão com prédios, peões e outros objectos a velocidades consideradas como sendo de risco. No entanto, o resultado de haver maioritariamente erros do tipo A, falhas de atenção que constituem um risco de acidente, mas que efectivamente não o provocaram, deve-se ao facto de não haver outros veículos a circular em estradas. Ou seja, muitos dos erros do tipo A nas tarefas de condução poderiam efectivamente constituir erros graves do tipo B.

Ao comparar os dois gráficos na figura 7.2 observa-se que no geral houve mais erros cometidos pelos utilizadores durante a execução das tarefas de condução sem a interacção dos sistemas. No entanto, comparando os resultados referentes à condução nocturna com e sem a assistência do sistema de visão nocturna, conclui-se que a diferença de desempenho de condução no que diz respeito às falhas

de atenção é reduzida. Opostamente à análise da tarefa de condução anterior, ao comparar os gráficos referentes à tarefa de condução com e sem o sistema de *Head-Up Display*, observa-se que houve uma redução significativa das falhas de atenção cometidas pelos utilizadores ao interagir com o sistema. Houve portanto um aumento significativo do desempenho e segurança de condução.

Comparando os gráficos referentes às tarefas de estacionamento sem sistemas e com os sistemas de estacionamento automático e de assistência ao estacionamento, observa-se que houve menos erros, ou seja, um melhor desempenho na conclusão da tarefa com a assistência dos sistemas. Verifica-se no entanto que houve uma melhoria maior no desempenho da conclusão da tarefa de estacionamento com o sistema de estacionamento automático do que com o sistema de assistência ao estacionamento.

As seguintes figuras, 7.3 e 7.4 apresentam a distribuição de erros globais na execução das tarefas com e sem a interacção com os sistemas.



7.3: Erros nas tarefas sem a interacção com os sistemas de segurança e de assistência

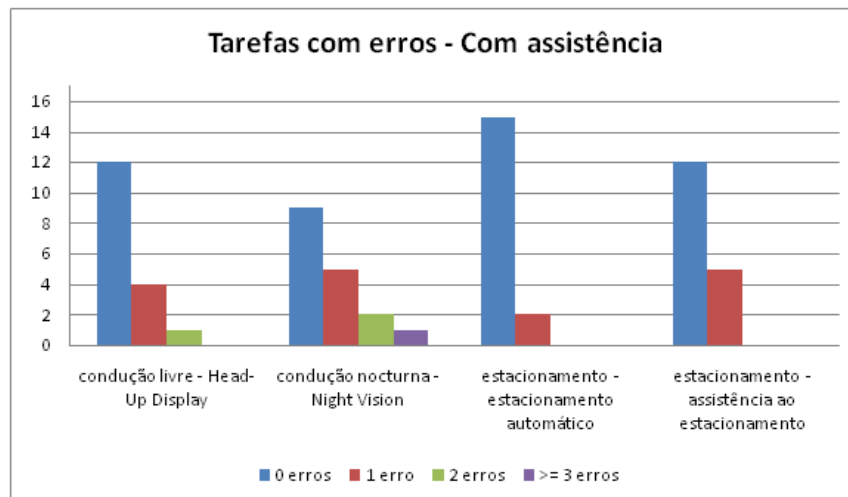
A partir da figura 7.3 observa-se que apenas dois utilizadores não cometeram erros na tarefa de condução livre. A maioria dos utilizadores cometeu um erro, havendo no entanto uma propensão dos restantes utilizadores a cometerem dois, três ou mais erros de atenção durante a condução.

Relativamente à tarefa de condução nocturna, verifica-se que a maioria dos utilizadores não cometeu erros de condução. Este aspecto é explicável na medida em que a condução nocturna obriga o condutor a tomar mais atenção ao ambiente de condução devido à redução de visibilidade. Verifica-se no entanto que houve uma tendência dos utilizadores a cometerem pelo menos um erro.

A tarefa de estacionamento apresenta o melhor resultado em termos de erros cometidos na tarefa. A maioria dos utilizadores conseguiu concluir o estacionamento sem dificuldade. Verifica-se no

entanto que ainda houve alguns utilizadores com dificuldades na conclusão da tarefa de estacionamento, cometendo maioritariamente um erro, ou de colisão com outros veículos ou de repetição de tentativa de estacionamento.

A figura 7.4 apresenta os resultados dos erros cometidos pelos utilizadores com a interacção dos sistemas.



7.4: Erros nas tarefas com a interacção dos sistemas de segurança e de assistência

Com a interacção simultânea dos sistemas de assistência durante a condução os utilizadores, demonstraram uma diminuição da propensão para errar. A tarefa de condução livre com interacção do sistema de *Head-Up Display* induziu a maioria dos utilizadores a não cometerem quaisquer erros, contrariamente ao resultado obtido na mesma tarefa sem interacção com o sistema. O número de erros quando cometidos pelos utilizadores diminuiu para um erro. Verifica-se portanto um aumento significativo do desempenho do condutor na conclusão da tarefa e consequentemente um aumento de segurança.

Relativamente ao resultado obtido na tarefa de condução nocturna com interacção com o sistema de visão nocturna, este é similar ao resultado obtido na tarefa simples de condução nocturna. Houve um pequeno aumento de pessoas que não cometeu erros nesta tarefa, mas em geral a distribuição de erros mantém-se igual à tarefa sem interacção com o sistema. Este aspecto é similarmente justificável à tarefa idêntica sem sistema. O utilizador, ao conduzir num ambiente nocturno, é obrigado a estar mais atento à condução, pelo que a interacção adicional de uma interface que induz uma carga cognitiva visual não influencia a diminuição de falhas de atenção. Apesar de o sistema ter um potencial de aumento de segurança rodoviária através da detecção de peões não visíveis na estrada, não se verifica uma melhoria significativa do desempenho de condução e consequentemente um aumento de segurança nos testes de usabilidade.

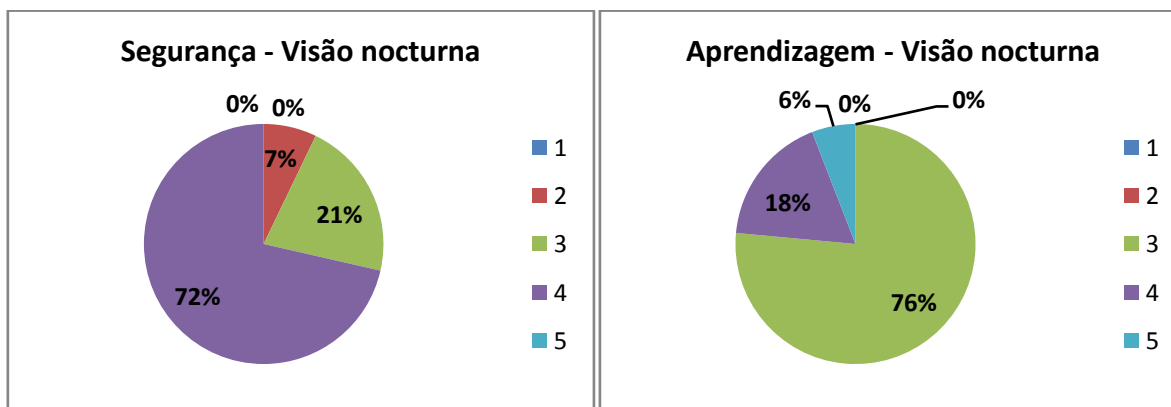
A conclusão da tarefa de estacionamento com a interacção de ambos os sistemas de estacionamento demonstrou um melhor desempenho comparado com o estacionamento manual do utilizador. Verifica-se especialmente no estacionamento com o auxílio do sistema automático uma diminuição de colisões e a eliminação da repetição da tentativa de estacionamento.

7.3. Análise à opinião subjectiva dos utilizadores

Esta secção descreve os resultados obtidos através dos inquéritos efectuados aos utilizadores após a conclusão das tarefas. A análise efectuada reflecte a opinião dos utilizadores dos vários sistemas de segurança e de assistência testados, relativamente a aspectos, tais como, contribuição de segurança, nível de distração, nível de concentração e facilidade de aprendizagem percebidas durante a condução com a interacção simultânea dos sistemas.

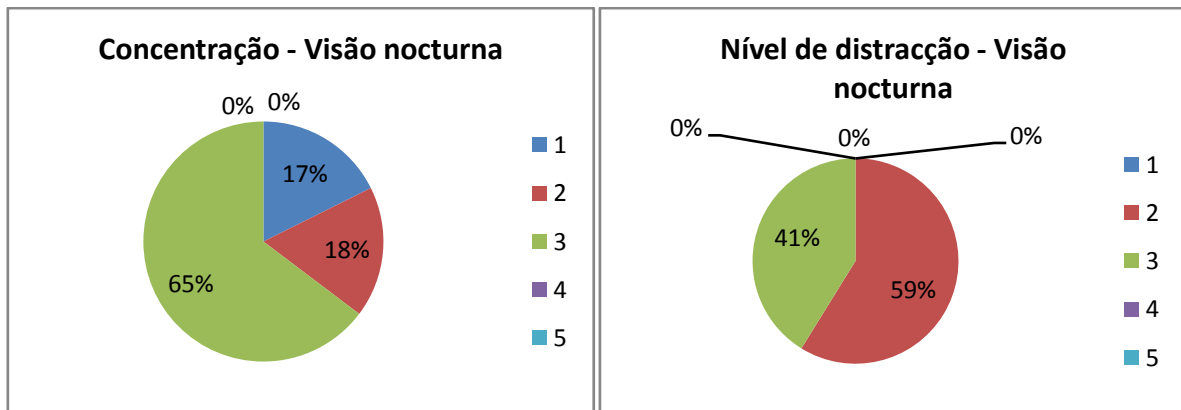
7.3.1. Sistema de visão nocturna

Relativamente ao sistema de visão nocturna, o sistema foi cotado pelos utilizadores avaliando a sua contribuição percebida quanto à segurança, facilidade de aprendizagem, nível de concentração e distração, numa escala ordinária de 1 a 5. As figuras 7.5 e 7.6 apresentam os gráficos resultantes desta cotação.



7.5: Níveis de segurança e facilidade de aprendizagem percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de visão nocturna

Na figura 7.5 pode ver-se que a maioria dos utilizadores, representando 72% da população da amostra, avalia o sistema de visão nocturna, para a detecção de peões durante a condução nocturna, como contribuindo significativamente para um aumento de segurança. O sistema é considerado pela maioria como tendo uma facilidade de aprendizagem satisfatória (76%), e boa (18%) a muito boa (6%) pela restante população de amostra.

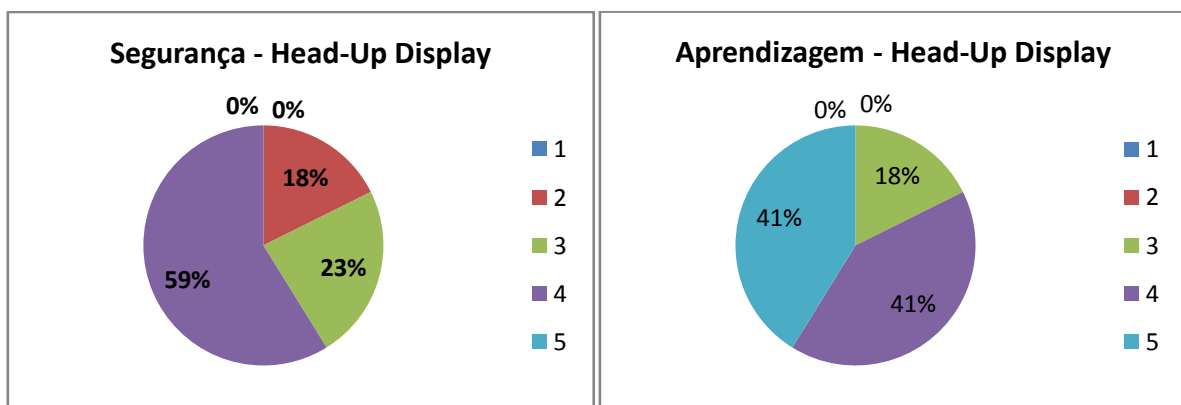


7.6: Níveis de concentração e distração percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de visão noturna

A partir da figura 7.6 retira-se que na sua maioria os utilizadores classificam o sistema menos satisfatório quanto à sua eficiência, relativamente aos recursos gastos para a conclusão das tarefas especificadas. 65% dos utilizadores são da opinião de que o nível de concentração necessário para a interacção com o sistemas é satisfatório tendo os restantes 35% da população de amostra uma opinião menos satisfatória da concentração necessária. Relativamente à distração provocada na interacção com o sistema de visão noturna durante a condução, 59% dos inqueridos, representando a maioria, consideram que o nível de distração provocado é menos satisfatório e os restantes 41% consideram que o nível de distração provocado é razoável.

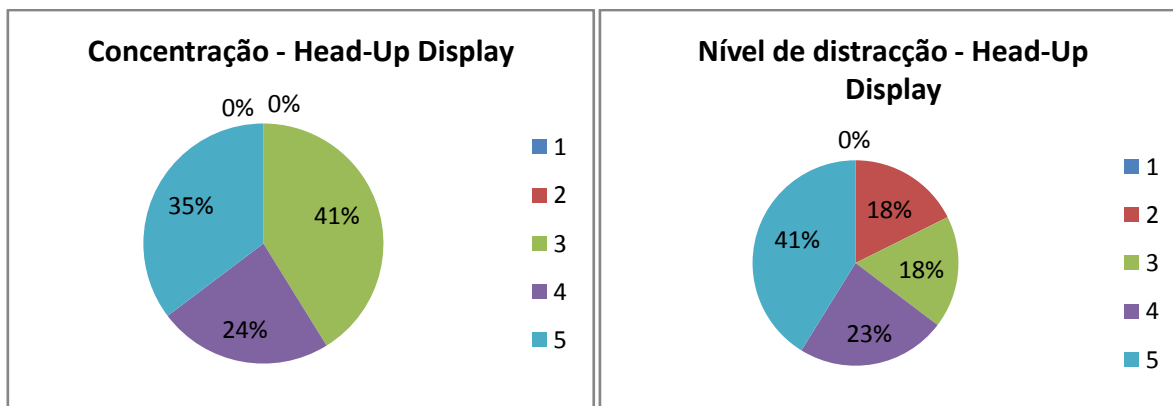
7.3.2. Head-Up Display

O sistema de *Head-Up Display* foi igualmente cotado pelos utilizadores avaliando a sua contribuição percebida quanto à segurança, facilidade de aprendizagem, nível de concentração e distração, numa escala ordinária de 1 a 5. As figuras 7.7 e 7.8 apresentam os gráficos resultantes desta cotação.



7.7: Níveis de segurança e facilidade de aprendizagem percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de *Head-Up Display*

Na figura 7.7 pode ver-se que a maioria dos utilizadores representando 59% da população de amostra avalia o sistema de *Head-Up Display* como contribuindo significativamente para um aumento de segurança. O sistema é considerado em geral como tendo uma facilidade de aprendizagem boa (satisfatória (18%), boa (41%) e muito boa (41%).

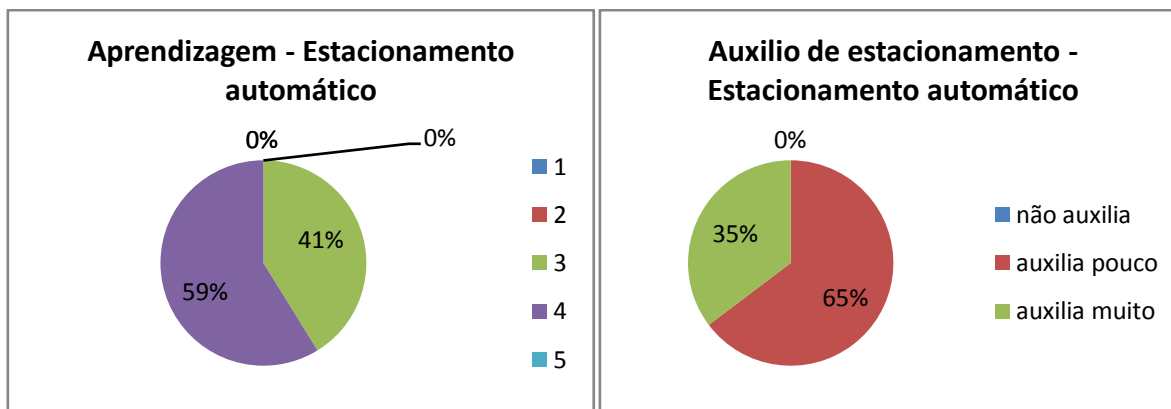


7.8: Níveis de concentração e distração percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de *Head-Up Display*

A partir da figura 7.8 retira-se que na sua maioria os utilizadores classificam o sistema bom quanto à sua eficiência, avaliando os recursos gastos para a conclusão das tarefas especificadas. 59% dos utilizadores, representando a maioria, são da opinião que o nível de concentração necessário para a interacção com o sistemas é baixo a muito baixo (baixo (24%) e muito baixo (35%)).

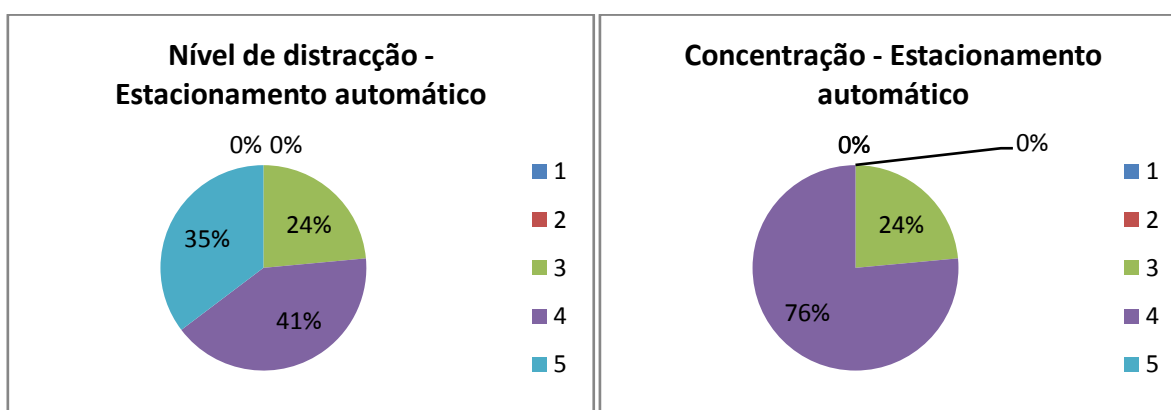
7.3.3. Sistema de estacionamento automático

O sistema de estacionamento automático foi cotado pelos utilizadores avaliando a sua, facilidade de aprendizagem, nível de concentração e distração, numa escala ordinária de 1 a 5. Também foi avaliado o auxílio prestado pelo sistema na tarefa de estacionamento. As figuras 7.9 e 7.10 apresentam os gráficos resultantes desta avaliação.



7.9: Facilidade de aprendizagem e nível de assistência percebidos pelos utilizadores na interacção com o sistema de estacionamento automático

A partir da figura 7.9 pode ver-se que a maioria dos utilizadores representando 59% da população de amostra avalia o sistema de estacionamento automático como tendo uma facilidade de aprendizagem boa. O critério de usabilidade de assistência do sistema na tarefa de estacionamento é cotado pela maioria dos utilizadores (65%), como sendo de pouco auxílio. Este resultado reflecte um problema de usabilidade em termos de satisfação, a aceitabilidade do utilizador pelo sistema. A pouca aceitabilidade deste sistema é explicável através do facto de o sistema tomar o controlo da direcção do veículo autonomamente durante o processo de estacionamento. Apesar de o utilizador controlar durante todo o processo a velocidade do veículo e poder desactivar em qualquer instante a intervenção autónoma do sistema na direcção, este mostra-se claramente relutante perante um controlo autónomo para a conclusão da tarefa de estacionamento.



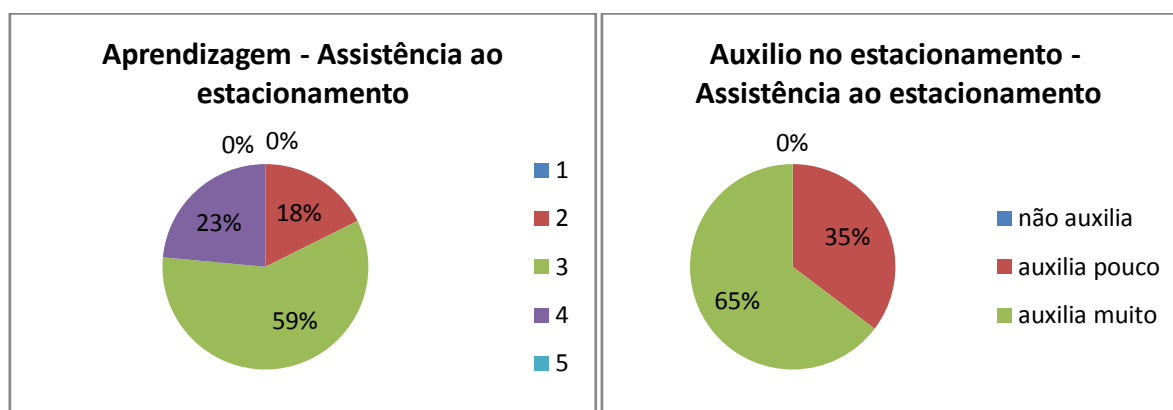
7.10: Níveis de concentração e distração percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de estacionamento automático

O sistema de estacionamento automático é primeiramente um sistema de assistência ao condutor e de conforto para a tarefa de estacionamento paralelo. Uma vez que este sistema não é aplicável durante a condução e como era esperado, os níveis de concentração e de distração na interacção

com o sistema são baixos. Os gráficos na figura 7.10 comprovam esta expectativa, a maioria dos inqueridos classifica os níveis de concentração e distração como sendo baixos, pelo que o critério de eficiência do sistema tem um resultado bastante positivo.

7.3.4. Sistema de assistência ao estacionamento

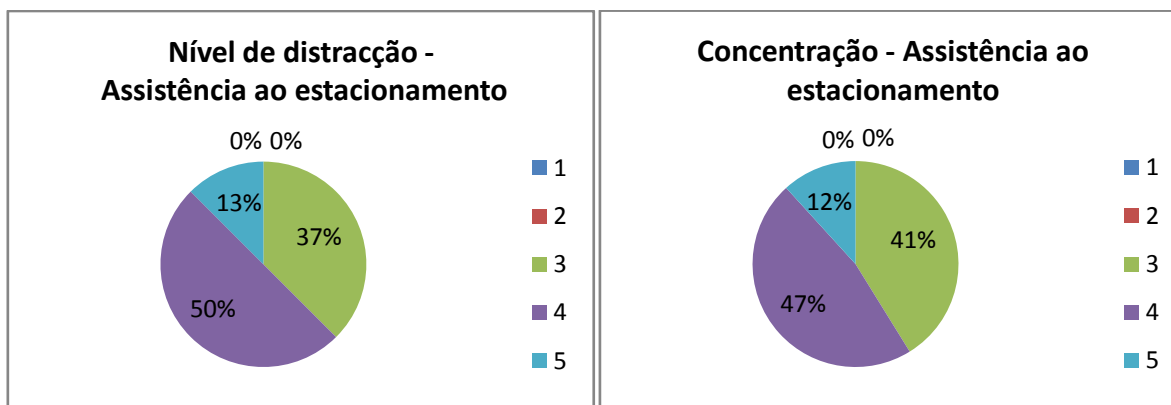
O sistema de assistência ao estacionamento foi cotado pelos utilizadores avaliando a sua, facilidade de aprendizagem, nível de concentração e distração, numa escala ordinária de 1 a 5. Também foi avaliado o auxílio prestado pelo sistema na tarefa de estacionamento. As figuras 7.11 e 7.12 apresentam os gráficos resultantes desta avaliação.



7.11: Facilidade de aprendizagem e nível de assistência percebidos pelos utilizadores na interacção com o sistema de assistência ao estacionamento

A partir da figura 7.11 pode ver-se que a maioria dos utilizadores representando 59% da população de amostra avalia o sistema de estacionamento automático como tendo uma facilidade de aprendizagem satisfatória, e 23% dos inqueridos considera-a boa. O critério de usabilidade de assistência do sistema na tarefa de estacionamento é cotado pela maioria dos utilizadores (65%) como sendo de muito auxílio, em contraste com o sistema de estacionamento automático. Contrariamente ao sistema de estacionamento automático, este resultado reflecte uma boa usabilidade do sistema de assistência ao estacionamento em termos de satisfação, à aceitabilidade do utilizador pelo sistema. Este contraste da aceitabilidade entre o sistema automático e o sistema de assistência é explicável através do facto de o sistema de assistência não ter interacção autónoma no controlo do veículo, pelo que o condutor é responsável pelo controlo do veículo em todos os passos da manobra de estacionamento. Apesar de o resultado de eficácia do sistema de estacionamento automático ter sido melhor do que o resultado de eficácia do sistema de assistência ao estacionamento, os utilizadores demonstraram uma clara preferência por este. Preferem manter o controlo total do veículo, obtendo durante todo o processo informação que lhes indique a melhor forma de efectuarem o estacionamento e que lhes dê *feedback* da posição do veículo perante o lugar

de estacionamento, do que um sistema automático que lhes reduza efectivamente a tarefa rotineira de estacionamento paralelo.

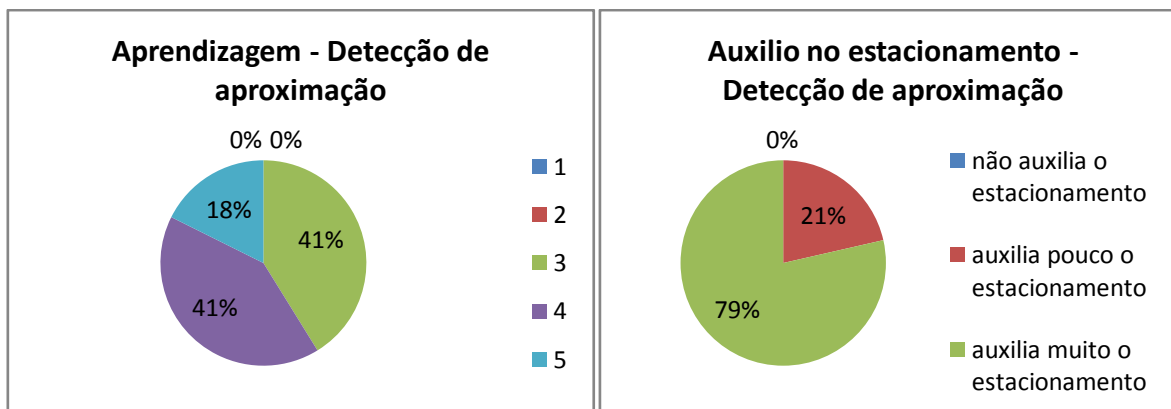


7.12: Níveis de concentração e distração percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de assistência ao estacionamento

Tal como no sistema de estacionamento automático, também este sistema é primeiramente um sistema de assistência ao condutor e de conforto para a tarefa de estacionamento paralelo. Uma vez que este sistema também não é aplicável durante a condução, era igualmente esperado que os níveis de concentração e de distração na interacção com o sistema fossem baixos. Os gráficos na figura 7.12 comprovam esta expectativa. A maioria dos inqueridos classifica os níveis de concentração e distração como sendo baixos, pelo que o critério de eficiência do sistema tem um resultado bastante positivo. No entanto é de referir que os resultados visíveis no gráfico de concentração para a interacção do sistema de assistência ao estacionamento demonstram que é requerido um pouco mais de concentração por parte do condutor para efectuar correctamente a tarefa de estacionamento comparando à concentração necessária na interacção com o sistema de estacionamento automático.

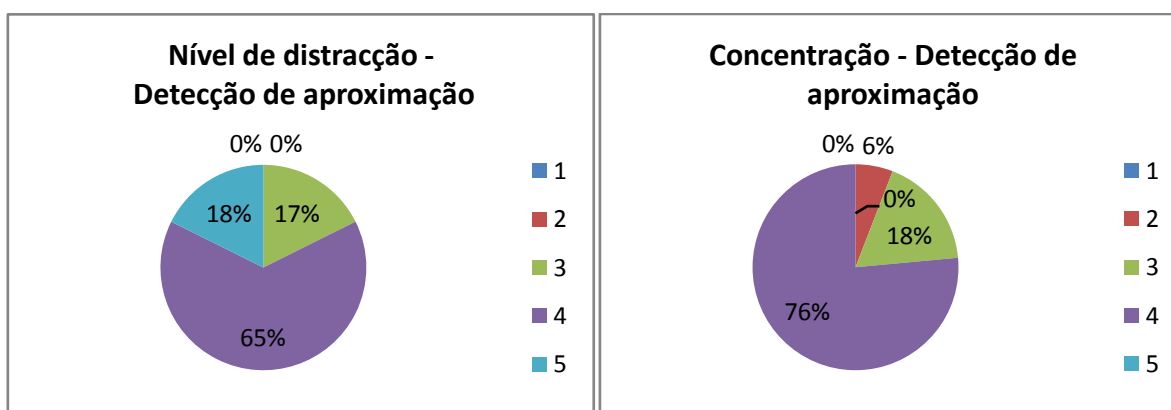
7.3.5. Sistema de detecção de aproximação

O sistema detecção de aproximação foi cotado pelos utilizadores avaliando a sua, facilidade de aprendizagem, nível de concentração e distração, numa escala ordinária de 1 a 5. Também foi avaliado o auxílio prestado pelo sistema na tarefa de estacionamento. As figuras 7.13 e 7.14 apresentam os gráficos resultantes desta avaliação.



7.13: Facilidade de aprendizagem e nível de assistência para a tarefa de estacionamento percebidos pelos utilizadores na interacção com o sistema de Detecção de aproximação

A partir da figura 7.13 identifica-se que a maioria dos utilizadores representando 59% dos inqueridos avalia o sistema de Detecção de Aproximação, como tendo uma facilidade de aprendizagem, ou seja, a facilidade de aprender a interpretar os sinais acústicos, boa ou muito boa (41% boa, 18% muito boa). O critério de usabilidade de assistência do sistema na tarefa de estacionamento é cotado pela maioria dos utilizadores (79%) como sendo de muito auxílio.



7.14: Níveis de concentração e distracção percebidas pelos utilizadores na interacção com o sistema de Detecção de aproximação

Os gráficos na figura 7.14 mostram que a maioria dos inqueridos classifica os níveis de concentração e distracção provocados pelos avisos acústicos como sendo baixos, pelo que o critério de eficiência do sistema tem um resultado bastante positivo.

8. Conclusões

Os resultados obtidos através da experiência apontam para várias conclusões, face aos objectivos estabelecidos para este trabalho. Em primeiro lugar, foi conseguido o desenvolvimento e simulação dos sistemas de segurança e de assistência e respectivas interfaces, inicialmente propostas para a integração no simulador, com um grau de realismo suficiente para a concretização do estudo de usabilidade e segurança. A integração de situações de condução específicas, normalmente encontradas numa condução real, para a utilização dos sistemas permitiu um aumento de validade dos dados obtidos através dos testes de usabilidade.

O objectivo destes sistemas integrados é de assistir o condutor durante a tarefa de condução ou de a facilitar, procurando ao mesmo tempo reduzir ao máximo a distração do condutor durante a interacção. No entanto, para que os sistemas possam ser efectivamente eficazes nas suas funcionalidades têm de apresentar um elevado nível de usabilidade, o qual foi testado neste trabalho.

Face aos objectivos pretendidos pela utilização destes sistemas, os resultados obtidos através dos testes de usabilidade e dos inquéritos aos utilizadores relativamente aos sistemas de visão nocturna, *Head-Up Display*, detecção de aproximação, estacionamento automático e assistência ao estacionamento no simulador de condução permitiram tirar várias conclusões. Os critérios de usabilidade avaliados para o estudo de usabilidade dos sistemas em questão permitiram identificar aspectos de usabilidade positivos e também alguns problemas em alguns sistemas. Verificou-se em geral um aumento de segurança, assistência e desempenho de condução com a utilização dos sistemas face à condução sem a assistência dos sistemas. A opinião subjectiva dos utilizadores confirma este resultado. Na maioria os utilizadores reconheceram que os sistemas de segurança e de assistência ao condutor permitiram um aumento de desempenho nas tarefas assistindo e facilitando a condução.

A existência do sistema de *Head-Up Display* onde o condutor pode consultar directamente no seu campo de visão, no pára-brisas, informação relevante, demonstrou um aumento significativo no desempenho e segurança de condução, face à consulta da mesma informação em dispositivos tradicionais. A distração provocada por este sistema demonstrou ser muito reduzida comparando com a inexistência deste sistema.

Acerca do sistema de assistência ao estacionamento conclui-se que melhora o desempenho e segurança da tarefa de estacionamento face ao estacionamento manual do condutor. Este sistema, embora necessite de alguma distração na consulta do painel, permite obter maior informação sobre

as distâncias pois dá um esquema da manobra a efectuar, indicando as direcções e momentos de viragem. O utilizador demonstra uma preferência clara na utilização deste sistema para efectuar a tarefa de estacionamento face à utilização do sistema de estacionamento automático.

No entanto foram identificados alguns problemas de usabilidade. O sistema de visão nocturna não apresentou resultados de eficácia, eficiência e de segurança como esperados. Apesar de o sistema ter o potencial de assistir positivamente o condutor na identificação de peões não visíveis durante a condução nocturna, os resultados demonstraram que o sistema não influencia significativamente o aumento do desempenho e a segurança de condução. Uma vez que a condução nocturna obriga o condutor a estar mais concentrado e atento ao ambiente de condução, a interacção do sistema constitui uma carga de recurso visual adicional, induzindo distração na condução. No entanto os utilizadores consideraram que o sistema de visão nocturna permitiu uma melhoria da detecção das pessoas a circular na estrada num ambiente nocturno de condução. A distração provocada pela consulta da informação deste sistema justifica plenamente a aposta nele, pois o nível de segurança proporcionado é substancialmente superior.

Outro problema de usabilidade identificado foi a aceitabilidade do sistema de estacionamento automático pelos utilizadores. Apesar de este sistema ter demonstrado melhores resultados em termos de eficácia da tarefa de estacionamento face ao estacionamento manual sem o sistema, ou mesmo com o sistema de assistência ao estacionamento, os utilizadores demonstram uma certa resistência em aceitar um sistema que controle autonomamente a direcção do veículo. Os utilizadores, quando questionados, afirmam que de facto o sistema auxilia um pouco a tarefa de estacionamento, mas que sentem que o sistema de assistência ao estacionamento é um auxílio superior. Esta conclusão poderá dever-se ao cepticismo dos condutores, pois para qualquer um, ainda hoje, é complicado dar a uma máquina a confiança para realizar uma tarefa que seria realizada por humanos.

Assim sendo, conclui-se que há diferenças no comportamento do condutor na tarefa de condução com e sem a assistência dos sistemas.

8.1. Possíveis melhorias futuras

Existem imensas oportunidades para desenvolver futuramente trabalho em usabilidade de sistemas de segurança e de assistência ao condutor neste simulador. O presente trabalho focou-se em sistemas de segurança e de assistência que interagem através das suas interfaces com o condutor, sendo o condutor que tem a decisão final. Sugere-se o estudo adicional da usabilidade de sistemas de segurança que actuem autonomamente na condução face a uma situação de perigo percebida no ambiente exterior, como é os casos dos sistemas *ACC* e *City-Safety* descritos no capítulo 2. Para tal

efeito, é necessário alargar o cenário visual urbano com elementos que permitam simular situações de condução encontradas no mundo real, sendo necessário para estes sistemas específicos a adição de outros veículos a circularem no cenário. Com a adição de outros veículos no cenário também é possível estudar a influência de outros sistemas de segurança, tais como o *BLIS* para a detecção de outros veículos no ângulo morto.

Adicionalmente, a modelação do cenário urbano no simulador original de [Por06] maioritariamente constituído por polígonos simples texturados constitui uma limitação para a integração de alguns elementos para aumentar o realismo, como foi o caso da simulação da iluminação da estrada com os faróis do veículo num cenário nocturno e a própria simulação do cenário num meio nocturno. Sugere-se uma alteração à modelação das estradas e prédios do cenário por meio de objectos 3D.

Outro aspecto interessante a desenvolver num trabalho futuro seria um algoritmo capaz de registar computacionalmente falhas e erros de condução cometidas pelos utilizadores nos testes de usabilidade, tais como por exemplo, o número de curvas cortadas, semáforos e outros sinais de trânsito não respeitados, traços contínuos e bermas transgredidos. O registo destes dados permite aumentar a validade dos dados recolhidos para a análise de usabilidade face à recolha desta informação por mera observação e registo manual do examinador.

Por fim, dado que a abordagem para a simulação do sistema de visão nocturna apresenta um baixo grau de realismo, um trabalho futuro interessante a realizar, seria a exploração de uma abordagem para a geração de imagens infravermelhas realistas.

Bibliografia

- [AAutosDe] – *VolksWagen Park-Assist*, visto a 08/09/27 em http://www.alle-autos-in.de/volkswagen/volkswagen_touran_tsi_a18880.shtml
- [ABC] – *Brake Assist System (BAS)*, visto a 08/09/07 em http://www.4x4abc.com/4WD101/BAS_how.html
- [AChannel] – *New Mercedes CL Coupe Uses Radar to Help the Driver Park*, visto a 08/09/27 em <http://www.theautochannel.com/news/2006/08/28/020130.html>
- [AParts] – *Adaptive Headlights*, visto a 08/09/27 em <http://www.usautoparts.net/bmw/technology/lighting.htm>
- [ATPC08] – *Driving the Future: The New American Autoindustry*, visto em 2008/08/01 em www.autotradecouncil.org/ATPCGreenBrochure.pdf
- [AutoBild] – *Pre-Safe denkt mit*, em [autobild.de](http://www.autobild.de) visto a 08/09/27 em http://www.autobild.de/aktuell/meldungen/artikel.php?artikel_id=4182
- [AutoWe04] – *Volvo Debuts World-First Safety Technology*, em autoweb.com visto a 08/09/27 em http://autoweb.com.au/cms/A_100465/newsarticle.html
- [AutoWe07] – *PRE-SAFE®: automatic partial braking before an impending accident*, em autoweb.com visto a 08/09/27 em http://autoweb.com.au/cms/A_108197/newsarticle.html
- [BMW] – *Faróis direccionais adaptativos*, em [bmw.pt](http://www.bmw.pt) visto a 08/09/27 em http://www.bmw.pt/pt/pt/newvehicles/x3/x3/2006/allfacts/ergonomics_ahc.html
- [BMWHup] – *No seu campo de visão, o visor Head Up*, em [bmw.pt](http://www.bmw.pt) visto a 08/09/27 em http://www.bmw.pt/pt/pt/newvehicles/x5/x5/2006/allfacts/ergonomics_hud.html
- [BWeek] – *BMW sees in the dark, BMW incorporates thermal imaging into its newly available Night Vision driver assistance system*, visto a 08/09/27 em http://www.businessweek.com/autos/content/aug2006/bw20060824_363632.htm?campaign_id=rs_s_null
- [Cell01] – M. Cellario, *Human-Centered intelligent Vehicles: Toward Multimodal Inteface Integration*, em *Intelligent Transportation Systems*, pp 78-81,2001.
- [Gizmag] – *Volvo Launches Blind Spot Information System (BLIS)*, em [gizmag.com](http://www.gizmag.com) visto a 08/09/27 em <http://www.gizmag.com/go/2937/>

- [Gree96] – P. Green, *In vehicle Information: Design of driver interfaces for route guidance*, artigo apresentado em Transportation Research Board Meeting, Washington, D. C , January 1996.
- [HO06] – R. M. Heinen, F. S. Osório, F. J. Heinen e C. Kelber, *SEVA3D: Using Artificial Neural Networks to Autonomous Vehicle Parking Control*, International Joint Conference on Neural Networks Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada July 16-21, 2006.
- [IUAA01] – H. Ito, H. Uno, B. Atsumi e M. Akamatsu, *Visual distraction while driving: Trends in research and standardisation*, em IATSS Research, 25, 20-28, 2001.
- [JN93] – J. Nielsen, Usability Engineering, 1993
- [JW05] – H. Johansson e K. Walter, *In-Vehicle Screen Density*, Masters Thesis in Cognitive Science, Linköpings universitet, Sweden, 2005.
- [KL02] – Kurt Landau, *The development of driver assistance systems following usability criteria*, Behaviour & Information Technology, vol. 21, No. 5, 341-344, 2002.
- [LSLKC] – W. S. Lee, D. H. Sung, J. Y. Lee, Y. S. Kim e J. H. Cho, *Driving Simulation for evaluation of driver assistance Systems and Driving Management Systems*, Kookmin University, Korea, 2007.
- [Mercedes] – *Classe E, segurança na condução, PRE-SAFE e BRAKE ASSISTE*, visto a 08/09/27 em <http://www.mercedes-benz.pt>
- [Mot] – *High-Beam Assist: let it take care of your headlights changes at night*, visto a 08/11/22 em <http://www.motiontrends.com/2005/2005csm/m08eng/bmw2/highbeamassist.shtml>
- [Motoring] – *BMW adds super-vision to night driving*, visto a 08/09/27 em <http://www.motoring.co.za/index.php?fArticleId=2621784>
- [Mur01] – N. Murphy, *Usability for Graphical User Interfaces*, 2001, visto a 2008/07/28 em http://www.embedded.com/columns/murphyslaw/9900036?_requestid=42164
- [NaAg] – N. Nandhakumar e J. K. Aggrawal, *Integrated Analysis of Thermal and Visual Images for Scene Interpretation*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and machine Intelligence, vol 10, No. 4, July 1988.
- [NRMA] – *BLIS, Volvo's blind spot technology*, visto a 08/09/27 em <http://www.mynrma.com.au/cps/rde/xchg/mynrma/hs.xsl/blis.htm>
- [NS04] – Leena Norros, Paula Savioja, *Usability Evaluation of Complex Systems*, STUK-YTO-TR 204, April 2004

[Par04] – I. E. Paromtchik, *Steering and Velocity Commands for Parking Assistance*, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Proceedings of the 10th IASTED International Conference ROBOTICS AND APPLICATIONS, 23-24, Honolulu, Hawaii, USA, August 2004.

[PLau06] – I. E. Paromtchik e C. Laugier, *Autonomous Parallel Parking of a Nonholonomic Vehicle*, Proc. Of the IEEE Intelligent Vehicle Symp., pp. 13-18, 1996.

[Por06] – A. Porta Nova, *Sistema Integrado de Comandos Auxiliares e Navegação Rodoviária*, Relatório de Trabalho Final de Curso em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico, 2006.

[Por07] – A. Porta Nova, *Highway hypnosis and in-car telematics*, Dissertação de mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico, 2007.

[Spiegel] – Volvo *Sicherheitssystem, ohne rempler durch die Stadt*, em Auto Spiegel visto a 08/09/27 em <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,452292,00.html>

[TG99] – O. Tsimhoni e P. A. Green, *Visual demand of driving curves as determined by visual*, apresentado em Vision in Vehicles Conference, 1999.

[Trans03] – Transport Canada, *Strategies for reducing driver distraction from in-vehicle telematics devices: a discussion document* (No. TP 14133E), Ottawa: Transport Canada: Road Safety and Motor Vehicle Regulations Directorate, 2003.

[Tre80] – J. R. Treat, *A study of pre-crash factors involved in traffic accidents*, HSRI Research review, 10/11,1-35, 1980.

[USTRans] – U.S Department of Transportation, *Human-Centered Systems, the next challenge in transportation*, 1999.

[VolvoCars] – *New Collision Warning with Auto Brake helps prevent rear-end collisions*, visto a 08/09/27 em <http://www.volvocars.com/us/footer/about/NewsAndEvents/News/Pages/default.aspx?item=34>

[VolvoXC] – *Volvo Displays New Safety Simulator at the 2005 New York Auto Show*, visto a 08/09/27 em <http://www.volvexc.com/news/display.php?subaction=showfull&id=1111691748>

[WCar] – *BMW Night Vision and High-Beam Assist*, visto a 08/09/27 em <http://www.worldcarfans.com/2050712.008/1>

[Wiki] – *Geometria de Ackermann*, em pt.wikipedia.org, visto a 2008/07/3 em http://pt.wikipedia.org/wiki/Geometria_de_ackermann

[WWBP] – Z. Wang, Z. Wu, H. Bao e Q. Peng, *The synthesis of infrared ground targets and its background*, State Key Laboratory of CAD & CG at Zhejiang University Hangzhou, P. R. China 310027, 2001.

[YMM03] – K. Young, M. Regan e M. Hammer, *Driver Distraction: A Review of the literature*, Report Nº 206 no Accident Research Centre, Monash University, 2003.

[YPTW98] – W. Yu, Q. Peng, H. Tu, Z. Wang, *An Infrared Image Synthesis Model Based on Infrared Physics and Heat Transfer*, State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 19, No. 12, 1998.

[YTP98] – W. Yu, H. Tu e Q. Peng, *An Infrared Image Synthesis Model*, State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, P.R. China, Pacific Conference on Computer Graphics and Applications , 1998.

[Zdnet] – *Head-up-Display: Neue Technik für mehr Verkehrssicherheit*, visto a 08/09/27 em <http://www.zdnet.de/enterprise/tech/auto/0,39026506,39125753,00>

Anexo A. Simulação de Imagens Infravermelhas

[YTP98],[WWBP],[NoAg] e [YPTW98] apresentam soluções para a modelação de imagens térmicas através da criação de um modelo de síntese para a geração de imagens infravermelhas realistas, baseado em características físicas da radiação infravermelha e da transferência de calor.

Este método contabiliza todas as formas de transferência de calor dentro de um objecto assim como a interacção dinâmica entre a superfície do objecto e o ambiente. Também incorpora a estrutura do objecto tridimensional no modelo à medida que o calor flui de uma parte do objecto para outra.

Neste modelo é primeiro estabelecido uma equação de balanço térmico na superfície do objecto. Com base na equação anterior, a transferência de calor no interior do objecto e na fronteira da superfície do objecto, são calculadas as temperaturas e radiosidades das áreas do objecto. Por fim, é desenhado cada área da superfície do objecto utilizando o método de *Gouraud Shading* com base nas radiosidades calculadas. As secções seguintes descrevem este modelo com maior detalhe.

A.1. Geração de imagens infravermelhas

Os factores que afectam a imagem térmica de um objecto incluem: a temperatura e a emissividade da superfície do objecto, radiação reflectida, propagação atmosférica e características dos sensores e a sua geometria. De entre os factores referidos, a temperatura da superfície de um objecto tem o papel principal.

A distribuição da temperatura na superfície de um objecto depende das fontes internas de calor, estrutura do objecto, propriedades térmicas do objecto e a interacção dinâmica entre a sua potência e localização, superfície do objecto e o ambiente. As propriedades térmicas, tais como densidade do material, calor específico, condutividade, volume e a geometria da superfície do objecto, determinam a natureza do fluxo de calor condutor dentro do objecto [YTP98],[YPTW98].

A conservação de energia trocada na superfície de um objecto é descrita pela equação de equilíbrio térmico:

$$q_i + q_{cdo} = q_{abs} + q_{rad} + q_{cdi} + q_{cv} \quad (7)$$

onde, q_i é a radiação incidente ambiente, $q_i = q_{sun} + q_{sky} + q_{ground}$, q_{sun} é a radiação solar, q_{sky} é a energia atmosférica dispersa e q_{ground} é a energia emitida pelo solo.

q_{cdo} é o calor conduzido originado na fonte de calor interna; q_{abs} é o calor radiante incidente absorvido; q_{rad} é o calor radiado para o ambiente, $q_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{amb}^4)$, sendo ε é a emissividade.

q_{cdi} é o calor conduzido dentro do objecto; q_{cv} é o calor convectado, $q_{cv} = \bar{h}(T_s - T_{amb})$, sendo $\bar{h}$ o coeficiente de convecção.

T_{amb} é a temperatura ambiente e T_s a temperatura da superfície.

De acordo com a equação (7) é possível calcular a temperatura de superfície e gerar uma imagem infravermelha do objecto, na hipótese de que a superfície só troca calor com o ambiente.

A.2. Transferência de calor no interior de um corpo

É conhecido que uma fonte interna de calor pode estar ligada ao exterior do objecto por partes em metal. Como o metal conduz o calor muito bem, o calor gerado pela fonte interna de calor e difundido para a superfície exterior tem um papel fundamental na temperatura da superfície.

Para calcular o calor difundido, subdivide-se a superfície do objecto em áreas.

Para essas áreas ligadas à fonte de calor através das partes metálicas, constrói-se o circuito térmico equivalente:

$$R_N = \frac{L_N}{kA_N} = \frac{1}{k} \int_0^{L_N} \frac{1}{A(l)} dl \quad (8)$$

$$A_N = \frac{L_N}{\int_0^{L_N} \frac{1}{A(l)} dl} \quad (9)$$

Onde A_N é a área de intersecção da secção efectiva, $A(l)$ é a secção de intersecção da parte de metal estrutural l , L_N é a distância da fonte de calor ao centro de cada área de superfície, k é a condutividade térmica do objecto.

De acordo com a lei de *Fourier* a equação de condução de calor é expressa como:

$$q_0 - q_{cdo} = \frac{T_s - T_0}{R_N} \quad (10)$$

onde q_0 é a energia e T_0 a temperatura da fonte interna de calor. Ao usar a lei de *Stefan-Boltzmann* e a equação de equilíbrio de calor (7) obtêm-se:

$$q_0 + q_i - \varepsilon \sigma_0 (T_s^4 - T_{amb}^4) A_N = \frac{T_s - T_0}{R_N} \quad (11)$$

Com a equação (11) pode ser determinada a temperatura das áreas das superfícies ligadas às fontes de calor internas [YPTW98].

A.3. Difusão térmica na superfície

Na superfície de um objecto o calor é transferido da área com a temperatura mais elevada que é adjacente à fonte interna de calor para a área com temperatura mais baixa. Este processo é

designado como difusão térmica. O processo pode ser concluído como a condução das áreas de superfície de temperatura elevada para as áreas adjacentes de forma progressiva.

Usando a equação bidimensional de condução, a temperatura das zonas adjacentes pode ser expressa através de uma diferença explícita:

$$t_{m,n} = \frac{t_{m+1,n} + t_{m-1,n} + t_{m,n+1} + t_{m,n-1}}{4} \quad (12)$$

Através da equação (12) e usando o método iterativo de *Gauss-Seidel*, é calculada progressivamente a temperatura desconhecida de todas as outras áreas [YTP98], [YPTW98].

A.4. Geração de imagens térmicas baseada na variação da temperatura de superfície de um objecto

Depois da temperatura da superfície T ter sido calculada, pode-se gerar imagens térmicas baseadas nas temperaturas calculadas. A propagação da radiação infravermelha em diferentes comprimentos de onda é diferente. Na maior parte do intervalo espectral a radiação infravermelha é muito atenuada. O intervalo espectral no qual a radiação infravermelha pode ser bem transmitida através da atmosfera é chamado de janela atmosférica.

O método simula as imagens infravermelhas do objecto calculando a radiosidade da superfície do objecto usando a lei de *Plank* na janela atmosférica.

Note-se que $e^{\frac{C_2}{\lambda T}} \gg 1$ permanece verdadeiro dentro da banda do espectro infravermelho. Depois é adoptada uma aproximação à lei de *Plank* como:

$$E \approx \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} e^{\frac{-C_2}{\lambda T}} d\lambda \quad (13)$$

Usando o método parcial integral, o integral é avaliado aproximadamente como:

$$E \approx \frac{C_1}{C_2} e^{\frac{-C_2 X}{T}} \left\{ X^3 + \frac{3}{C_2} \left[X^2 + \frac{2}{T} \left(X + \frac{1}{C_2} \right) \right] \right\} \Bigg|_{X=\frac{1}{\lambda_2}}^{X=\frac{1}{\lambda_1}} \quad (14)$$

De acordo com a lei de deslocamento de *Wien* se $\lambda T < 3000 \mu m K$, o erro relativo induzido pela equação (14) será menor do que um por cento.

Se os valores máximos e mínimos da radiosidade forem E_{max} e E_{min} , a intensidade da cor cinzenta do elemento de superfície com radiosidade E será definido como:

$$G = \left[r + (1 - r) \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} \right] \times 255 \quad (15)$$

onde r é constante e o seu valor encontra-se no intervalo $0 \leq r \leq 1$. Usando o método de sombreamento de *Gouraud* da Computação Gráfica, pode-se representar as imagens infravermelhas [WWBP].

Anexo B. Ficha técnica do FIAT 500

MOTOR

Tipo 4 cilindros em linha Diesseç, transversal, dianteiro

Cilindrada (cc) 1248

Diâmetro x curso (mm) 69,6x82,0

Taxa de compressão 17,6:1

Potência máxima (cv/rpm) 75/4000

Binário máximo (Nm/rpm) 145/1500

Distribuição 2 v.e.c., 16 válvulas

Alimentação injeção directa common-rail

Sobrealimentação turbo + intercooler

TRANSMISSÃO

Tracção dianteira com ASR

Caixa de velocidades manual de 5+ma

DIRECÇÃO

Tipo pinhão e cremalheira

Assistida sim (Dualdrive)

Diâmetro de viragem (m) 9,2

TRAVÕES

Dianteiros (Ø mm) discos ventilados (240)

Traseiros (Ø mm) tambores (180)

ABS sim, com EBD

SUSPENSÕES

Dianteira McPherson com triângulos duplos

Traseira eixo de torção

Barra estabilizadora frente/trás	sim/não
----------------------------------	---------

PERFORMANCES ANUNCIADAS

Velocidade máxima (km/h)	165
--------------------------	-----

0-100 km/h (s)	12,5
----------------	------

Consumos (l/100 km) Extra-urbano/Combinado/Urbano	3,6/4,2/5,3
--	-------------

Emissões de CO2 (g/km)	111
------------------------	-----

DIMENSÕES, PESO E CAPACIDADES

Comprimento/largura/altura (mm)	3546/1627/1488
---------------------------------	----------------

Distância entre eixos (mm)	2300
----------------------------	------

Vias frente/trás (mm)	1413/1407
-----------------------	-----------

Capacidade do depósito (l)	35
----------------------------	----

Capacidade da mala (l)	185
------------------------	-----

Peso (kg)	980
-----------	-----

Relação peso/potência (kg/cv)	13,1
-------------------------------	------

Jantes de série – Pneus de série	6Jx15" – 185/55R15
----------------------------------	--------------------

EQUIPAMENTO DE SÉRIE

Airbag condutor/passageiro/cortina	sim/sim (desligável)/sim
------------------------------------	--------------------------

Airbags laterais dianteiros/traseiros	sim/não
---------------------------------------	---------

Encostos de cabeça frente/trás	sim/sim (2)
--------------------------------	-------------

Cintos dianteiros/traseiros reguláveis em altura	sim/não
--	---------

Pré-tensores nos cintos dianteiros/traseiros	sim/não
--	---------

Cintos traseiros três pontos/fixações Isofix	sim/sim
--	---------

Trancamento automático das portas	sim
-----------------------------------	-----

Controlo de tracção/controlo de estabilidade	sim/500 euros
--	---------------

Direcção assistida	sim
--------------------	-----

Bancos em pele	1000 euros
----------------	------------

Banco traseiro rebatível	sim
--------------------------	-----

Fecho centralizado/comando	sim/sim
Vidros eléctricos frente	sim
Retrovisores eléctricos/aquecidos/rebatíveis	sim/sim/não
Volante em pele regulável em altura/alcance	sim/não
Punho caixa/fole caixa/travão de mão em pele	50 euros/sim/não
Ar condicionado	sim (automático: 300 euros)
Rádio mp3 com CD/comandos volante/sistema áudio Hi-Fi	sim/sim/350 euros
Sistema Blue&Me/sistema Blue&Me Nav com mapa	sim/330 euros
Computador de bordo	sim
Regulação interior altura faróis/faróis de nevoeiro	sim/sim
Jantes de liga leve/roda suplente	sim/emergência
Bolsas nas costas dos bancos dianteiros	sim
Pintura metalizada	300 euros
Riscos, códigos de barras ou faixas/tecto xadrez/número 5	150 euros/250 euros/70 euros
Tecto de vidro fixo com cortina/tecto de abrir eléctrico	sim/300 euros
Sensores de estacionamento traseiros	sim
Retrovisor interior electrocromático	100 euros
Kit cromo	sim
Retrovisores cromados	50 euros

* - Os preços aqui mencionados são à data do artigo.
Para preços mais actualizados consulte as [Cotações AutoMotor](#).

Anexo C. Inquérito para os testes de usabilidade

*1) Idade:

☐ Até 18 anos ☐ 18-25 anos
☐ 26-40 anos ☐ + 40 anos

*2) Género:

☐ M ☐ F

*3) Possui carta de condução?

☐ Sim ☐ Não

4) Por favor seleccione os sistemas rodoviários que já utilizou:

☐ Sistema de visão nocturna	☐ Detecção de aproximação
☐ "Head-up display"	☐ Estacionamento automático
☐ Assistência ao estacionamento	

5) Como classifica o contributo do sistema de visão nocturna para a segurança durante a condução?

☐ Contribui muito negativamente para a segurança
☐ Contribui pouco para a segurança
☐ Não influencia a segurança
☐ Melhora a segurança
☐ Melhora significativamente a segurança

6) Como classifica o contributo do sistema de "head-up display" para a segurança durante a condução?

- ☐ Contribui muito negativamente para a segurança
- ☐ Contribui pouco para a segurança
- ☐ Não influencia a segurança
- ☐ Melhora a segurança
- ☐ Melhora significativamente a segurança

7) Possui dificuldade a realizar estacionamento?

- ☐ Muita dificuldade
- ☐ Pouca dificuldade
- ☐ Alguma facilidade
- ☐ Muita facilidade

8) Considera que o sistema assistência ao estacionamento...

- ☐ ... não auxilia o estacionamento
- ☐ ... auxilia pouco o estacionamento
- ☐ ... auxilia muito o estacionamento

9) Considera que o sistema de detecção de aproximação...

- ☐ ... não auxilia o estacionamento
- ☐ ... auxilia pouco o estacionamento
- ☐ ... auxilia muito o estacionamento

10) Considera que o sistema de estacionamento automático...

- ☐ ... não auxilia o estacionamento
- ☐ ... auxilia pouco o estacionamento
- ☐ ... auxilia muito o estacionamento

11) Classifique o sistema de visão noturna de 1 (pior) a 5 (melhor) nos seguintes aspectos:

	1 - Muito mau	2 - Mau	3 - Bom	4 - Muito bom	5 - Excelente
Rapidez de aprendizagem (pior classificação se o tempo for grande)	☐	☐	☐	☐	☐
Concentração necessária na utilização (pior classificação se for necessário muita concentração)	☐	☐	☐	☐	☐
Nível de distração (pior classificação se a distração for grande)	☐	☐	☐	☐	☐

12) Classifique o sistema de Head-up Display de 1 (pior) a 5 (melhor) nos seguintes aspectos:

	1 - Muito mau	2 - Mau	3 - Bom	4 - Muito bom	5 - Excelente
Rapidez de aprendizagem (pior classificação se o tempo for grande)	☐	☐	☐	☐	☐
Concentração necessária na utilização (pior classificação se for necessário muita concentração)	☐	☐	☐	☐	☐
Nível de distração (pior classificação se a distração for grande)	☐	☐	☐	☐	☐

13) Classifique o sistema de estacionamento automático de 1 (pior) a 5 (melhor) nos seguintes aspectos:

	1 - Muito mau	2 - Mau	3 - Bom	4 - Muito bom	5 - Excelente
Rapidez de aprendizagem (pior classificação se o tempo for grande)	☐	☐	☐	☐	☐
Concentração necessária na utilização (pior classificação se for necessário muita concentração)	☐	☐	☐	☐	☐
Nível de distração (pior classificação se a distração for grande)	☐	☐	☐	☐	☐

14) Classifique o sistema de detecção de colisão de 1 (pior) a 5 (melhor) nos seguintes aspectos:

	1 - Muito mau	2 - Mau	3 - Bom	4 - Muito bom	5 - Excelente
Rapidez de aprendizagem (pior classificação se o tempo for grande)	☐	☐	☐	☐	☐
Concentração necessária na utilização (pior classificação se for necessário muita concentração)	☐	☐	☐	☐	☐
Nível de distração (pior classificação se a distração for grande)	☐	☐	☐	☐	☐

15) Classifique o sistema de assistência ao estacionamento de 1 (pior) a 5 (melhor) nos seguintes aspectos:

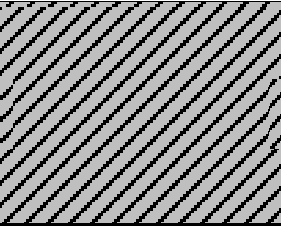
	1 - Muito mau	2 - Mau	3 - Bom	4 - Muito bom	5 - Excelente
Rapidez de aprendizagem (pior classificação se o tempo for grande)	☐	☐	☐	☐	☐
Concentração necessária na utilização (pior classificação se for necessário muita concentração)	☐	☐	☐	☐	☐
Nível de distração (pior classificação se a distração for grande)	☐	☐	☐	☐	☐

Anexo D. Percursos definidos para os testes de usabilidade aos sistemas



A seguinte figura apresenta os percursos definidos para os testes de usabilidade. O percurso P1 é efectuado para a realização dos testes ao sistema de visão nocturna. O percurso P2 foi definido para efectuar testes aos sistemas de estacionamento.

Anexo E. Formulário do Examinador

Interrompeu		Descrição	Percurso		Sem sistema	Com Sistema
Tarefas	1	Condução livre e leitura da velocidade	Livre	Cumpriu		
				Percebeu		
				Errou		
	2	Condução nocturna num percurso com peões	P1	Cumpriu		
				Percebeu		
				Errou		
	3	Estacionamento paralelo entre dois veículos	P2	Cumpriu		
				Percebeu		
				Errou		
	4	Estacionamento paralelo entre dois veículos	P2	Cumpriu		
				Percebeu		
				Errou		
Erros Cometidos	B					
	A					