

ESTUDO DO POTENCIAL IMPACTO DE UM SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING NA SEGURANÇA RODOVIÁRIA

JOÃO PEIXOTO CARVALHO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira

Coorientador: Doutor Francisco João Anastácio Duarte

JULHO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



mipec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e Irmã,

Knowledge speaks, but wisdom listens.

Jimi Hendrix

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira, que sempre se mostrou disponível para tirar qualquer dúvida e sempre mostrou uma preocupação para que a elaboração da tese decorresse de maneira mais correta possível, agradeço a orientação sempre atenta e carinhosa.

Ao Doutor Francisco João Anastácio Duarte, agradeço imenso o facto de ter sido muito mais que uma entidade patronal. A constante preocupação com o meu bem-estar e todos os presentes na start-up, a exigência de resultados, a variedade de cenários e engenharias que me fizeram pensar muitas vezes fora da caixa, foram fulcrais para a minha realização pessoal. Acredito que foi essencial estar nesta start-up, para melhor perceber como funciona o mercado de trabalho e ganhar conhecimentos nas diversas engenharias e outras áreas.

Agradeço aos meus colegas da start-up, pelo companheirismo e ajuda nas diversas tarefas que tive de realizar. Tornaram o ambiente leve e descontraído sem nunca perder o profissionalismo. Um especial obrigado ao Ricardo Neves e ao Nuno Cunha, por cederem os seus veículos de uso pessoal, para a realização dos ensaios experimentais.

Agradeço aos meus colegas de curso, que jamais serão esquecidos, pelos momentos de lazer, ajuda no estudo e na formação de carácter.

Agradeço, também, a todos os integrantes da secção de Vias de Comunicação do Departamento de Engenharia Civil, especialmente os do Laboratório de Análise de Tráfego, que sempre me fizeram sentir integrado e me acolheram com um ambiente familiar e amigável. Um especial agradecimento à Cintia Campos por se mostrar sempre disponível para me ajudar na área da estatística e à Lígia Conceição pela perícia no inglês.

Agradeço, com especial carinho, aos meus dois melhores amigos Pedro Ferreira e Tiago Pintão, que me acompanharam ao longo da minha vida, como irmãos. Foram imprescindíveis nos melhores e piores momentos e sei que irão estar incondicionalmente presentes no futuro.

O maior agradecimento recai, claro está, sobre a família, que sempre esteve lá, sempre me apoiou e acreditou em mim, independentemente da situação. Em especial, obrigado aos meus pais e irmã por me formarem a minha essência, educação e carácter, através do vosso amor, carinho e dedicação infindáveis.

RESUMO

Com a evolução das medidas de acalmia de tráfego, surgem novas tecnologias que melhoram a qualidade de vida e a segurança dos utentes das vias de comunicação. Com esse propósito, está a ser desenvolvido um novo sistema de *Pavement Energy Harvesting* (PEH) cujo objetivo é trazer um maior número de benefícios em relação aos sistemas de segurança tradicionais, designadamente os desnivelamentos verticais. Assim, pretende-se analisar a predisposição à mudança para este novo sistema, dos usuários das vias de circulação. Também é necessário comparar determinados parâmetros entre o novo dispositivo e as medidas de segurança tradicionais, sendo que a escolhida para esta comparação, baseada em ensaios experimentais, foi a lomba redutora de velocidade (LRV).

Para realizar o estudo sobre a predisposição dos utentes da via pública recorreu-se a inquéritos. Estes questionários tiveram como fim analisar o ponto de vista dos inquiridos, colocando-se na perspetiva de peão, condutor e residente. Foram, então, realizadas perguntas relacionadas com a satisfação relativa ao estado atual das medidas de segurança. Tentou-se, também, perceber quais seriam as medidas de segurança que o sistema PEH oferece, que os inquiridos achariam mais importantes.

As medições realizadas foram efetuadas em três diferentes dispositivos de segurança: duas LRV, com diferentes alturas (3 e 5 cm) e o novo sistema modular PEH. Serão, portanto, medidos aquando da passagem do veículo sobre cada desnível vertical: ruído, desconforto e redução de velocidade.

Os inquéritos revelaram a identificação da problemática do excesso de velocidade e do descontentamento geral face às LRV, por parte dos inquiridos. Como tal, os inquiridos viram o sistema PEH como uma boa alternativa às lombas, face às medidas que o novo sistema eletromecânico propõe implementar.

Apesar de alguns inconvenientes encontrados no local de testes, pode-se dizer que os ensaios decorreram normalmente. No que toca ao ruído, o sistema PEH teve um desempenho inferior ao das LRV. No entanto, o sistema PEH mostrou um desconforto mais tolerável e uma maior redução de velocidade que as lombas.

Porém, se os ensaios experimentais decorressem sem contratempos e fossem realizados com mais preparação, é possível que os resultados diferissem dos obtidos.

Pode-se então concluir que o sistema PEH tem potencial para vir a ser uma medida de acalmia de tráfego eficaz. No entanto, o seu desempenho tem de ser melhorado e testado em ensaios futuros de maneira a apresentar uma alternativa viável às lombas. Com essas melhorias já implementadas e as restantes propriedades que oferece, este sistema mostra poder vir a ser uma medida muito útil para a segurança rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança rodoviária, Medidas de Acalmia de Tráfego, *Pavement Energy harvesting*, Análise experimental, Predisposição à mudança.

ABSTRACT

Along with the evolution of the calming traffic measures, new technologies appear to improve the quality of life and safety of all road users. With that in mind, a novel Pavement Energy Harvesting (PEH) device system comes forward to bring more benefits than the current road safety systems, usually based on a vertical slope. In this sense, this Master thesis aims to analyse the predisposition and opinion of the road users regarding this new device. Additionally, through experimental trials, some parameters can be measured to compare new and traditional road safety measures. In this study, the chosen comparative device is the speed bump.

To check whether road users were predisposed for future improvements, a survey was conducted with three main user perspectives: pedestrians, drivers and urban residents. The survey included specific questions regarding user satisfaction over the road safety approaches in the site. Regarding the novel PEH device, the questionnaire focused on user acceptance and opinion as well the main features users value the most.

The experiments carried out three different road safety devices: two traditional speed bumps of different heights (3 and 5 cm), and the novel PEH modular device. In each experiment, i.e., when a vehicle crosses one of the mentioned vertical slopes, the measured parameters were related to noise, discomfort and speed reduction.

The surveys found that, the speed excess was seen by the respondents as a major issue. Also, road users were not satisfied with the current speed bumps performance. We also found that users agreed and were satisfied with the deployment of the novel electromechanical device as an alternative of the traditional speed bumps.

Although some struggle experienced while carrying out the trial experiments, all the data collection and the tests were successfully performed. The novel PEH device revealed a worse performance regarding noise but more comfort and speed reduction than the traditional speed bumps. However, these findings could be influenced by the experienced issues that if overcame, eventually would lead to slightly different results.

Overall, we may conclude that the novel PEH system has the potential to become an effective calming traffic measure. However, to become an effective alternative to the traditional speed bumps, more experiments and trials must be performed to improve its performance. In this way, with these improvements deployed and the excellent overall properties offered by this novel PEH device, this system could become a useful measure for road safety improvement.

KEYWORDS: Traffic safety, Traffic Calming Measures, Pavement Energy Harvesting, Experimental analysis, Predisposition to change.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 FUNDAMENTOS E ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
1.4 CALENDARIZAÇÃO DOS TRABALHOS	4
1.5 ANÁLISE DE RISCOS	4
2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 INTRODUÇÃO HISTÓRICA DAS MEDIDAS DE ACALMIA DE TRÁFEGO	7
2.2 PROBLEMÁTICA DOS ACIDENTES	8
2.3 PROBLEMÁTICA DO EXCESSO DE VELOCIDADE	12
2.4 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE ACALMIA DE TRÁFEGO	14
2.4.1 ESTRANGULAMENTO	15
2.4.2 ZONAS ESCOLARES	16
2.4.3 DIMINUIÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE	17
2.4.4 LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE	17
2.5 SISTEMAS COM CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES AO SISTEMA PEH	18
2.5.1 MEDIDAS TRADICIONAIS – LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE (LRV)	19
2.5.1.1 Definição	19
2.5.1.2 Tipologia e caracterização das LRV	19
2.5.1.3 Inconvenientes, limitações e desvantagens das LRV	22
2.5.2 MEDIDAS INOVADORAS	24
2.6 SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING (PEH)	31
2.7 SÍNTESE CONCLUSIVA	34

3 METODOLOGIA DO ESTUDO E AQUISIÇÃO DE DADOS 37

3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 INQUÉRITO SOBRE O ESTADO ATUAL DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA E O NOVO SISTEMA PEH	38
3.3 ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....	40
3.3.1 TESTES DE RUÍDO	40
3.3.2 TESTES DE IMPACTO	44
3.4 REFLEXÃO CRÍTICA	46

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 49

4.1 INTRODUÇÃO.....	49
4.2 RESULTADOS	49
4.2.1 INQUÉRITOS	49
4.2.1.1 Caracterização da amostra.....	49
4.2.1.2 Respostas ao inquérito	50
4.2.1.3 Análise das respostas com recurso à ANOVA	52
4.2.2 TESTES DE RUÍDO.....	63
4.2.3 TESTES DE IMPACTO	65
4.2.3.1 Teste de Conforto – Medição da aceleração vertical	66
4.2.3.2 Teste de Redução de Velocidade – Medição da aceleração longitudinal.....	71
4.3 REFLEXÃO CRÍTICA	74

5 CONCLUSÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS..... 77

5.1 CONCLUSÕES FINAIS	77
5.2 PERSPETIVAS FUTURAS	78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
---	-----------

ANEXOS..... 87

ANEXO A – INQUÉRITO.....	89
ANEXOS B – ESPECIFICAÇÕES DOS VEÍCULOS USADOS NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS	105
ANEXO B1 – NISSAN LEAF.....	105
ANEXO B2 – VOLVO V70.....	107

ANEXO B3 – RENAULT CLIO (CARRINHA).....	109
ANEXOS C – ANÁLISES ANOVA, POR SECÇÃO	111
ANEXO C1 – SECÇÃO 1: CONDUTORES	111
ANEXO C2 – SECÇÃO 2: PEÕES.....	115
ANEXO C3 – SECÇÃO 3: MORADORES.....	119
ANEXO C4 – SECÇÃO 4: NOVO SISTEMA PEH	121
ANEXOS D – VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS, POR VEÍCULO	127
ANEXO D1 – NISSAN LEAF	127
ANEXO D2 – VOLVO V70	129
ANEXO D3 – RENAULT CLIO (CARRINHA)	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mortes relacionadas com tráfego rodoviário, por tipo de usuário (OMS 2018).....	1
Figura 2 - Risco de morte dos peões em função da velocidade de impacto (ETSC 2008).....	2
Figura 3 - exemplo de um <i>woonerf</i>	8
Figura 4 - exemplo de um <i>woonerf</i> devidamente sinalizado.....	8
Figura 5 – Número de mortes, por mês, por tipo de utente da via na União Europeia, 2016 (ERSO 2019).....	11
Figura 6 – Distribuição das mortes por hora, por tipo de utente da via, na União Europeia, 2016 (ERSO 2019).....	12
Figura 7 – Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades (Wolfe et al. 2017).....	13
Figura 8 – Distribuição cumulativa das velocidades médias de atropelamento, por grupo de severidade de danos sofridos (Kröyer 2015).	14
Figura 9 - Exemplo de um estrangulamento em Londres, Inglaterra (Right Driver Mock Theory Tests).....	16
Figura 10 - Exemplo de uma zona escolar na Austrália (Carsguide).....	16
Figura 11 - Exemplo da aplicação da redução do limite de velocidade em Wittenheim, França (New Mobility News).....	17
Figura 12 - Exemplo de uma lomba redutora de velocidade (Cellcode).....	18
Figura 13 - Diferentes perfis longitudinais das LRV (Silva e Santos 2011; Ewing 1999).....	19
Figura 14 - Perfis típicos de <i>speed hump</i> e <i>speed bump</i> (Weber 1998).....	20
Figura 15 - Lomba modular do tipo <i>speed bump</i> , da marca 3M (Sintimex).....	20
Figura 16 - Perfil da lomba circular tipo <i>Watts</i> (ANSR e NFT 2007).....	21
Figura 17 – Perfil de uma lomba trapezoidal (ANSR e NFT 2007).....	21
Figura 18 - Passagem pedonal elevada em Vila do Conde (CM Vila do Conde).....	21
Figura 19 – Interseção em plataforma, na vista do condutor e em planta, em Esmoriz (Google Maps).....	22
Figura 20 - Sistema PPF <i>Solar Roadways</i> no Texas, EUA (Solar Roadways).....	25
Figura 21 - 1 Km da solução PPF <i>Wattway</i> na Normandia, França (Wattway).....	26
Figura 22 - Pormenor do Sistema <i>Solmove</i> da gama <i>Voltstreet</i> (Solmove).....	27
Figura 23 - Pormenor da instalação do PPF <i>SolaRoad</i> na Holanda (SolaRoad).....	27
Figura 24 – Sistema SEM <i>Lybra</i> em Itália (Underground Power).....	28
Figura 25 - Estrutura do sistema SEM da <i>Pavegen</i> (Pavegen).....	28
Figura 26 - SEM <i>Actibump</i> ativo (Edeva).....	29
Figura 27 - Sistema <i>Tope Inteligente</i> inativo e ativo (Inteligencia Vial).....	29

Figura 28 - SME Vivadén em testes em ambiente controlado na Espanha (Movivo).....	30
Figura 29 - SB <i>Flex-Drempel</i> da TTS na Holanda (Total Technical Solutions).....	31
Figura 30 - Exemplo da BIV no estado não rijo, em Espanha (Badennova).....	31
Figura 31 – Representação, no formato CAD, do sistema PEH	31
Figura 32 - Simulação 3D do produto final pretendido para o sistema PEH (Duarte 2017)	32
Figura 33 - Interior do sistema PEH, no formato CAD	32
Figura 34 - Instalação da caixa de betão que irá suportar o sistema PEH, em Matosinhos	33
Figura 35 - Protótipo do sistema PEH totalmente instalado, em Matosinhos	34
Figura 36 - Evolução das normas ISO, para medição do ruído dos veículos (ISO 2015)	40
Figura 37 - Distâncias a respeitar, no local de ensaios de medição do ruído (ISO 2015).....	40
Figura 38 - Sonómetro B&K 2260, usado nos ensaios experimentais das instalações da CMM	41
Figura 39 - Diferentes curvas de ponderação dos níveis de pressão sonora (APA 2004)	42
Figura 40 - Gráfico exemplo dos valores LA_{eq} e $LA_{máx}$ (APA 2004)	42
Figura 41 - Ensaio de Medição do nível de ruído, com O <i>Nissan Leaf</i> , a passar sobre a LRV de 3 cm	43
Figura 42 - Três desnivelamentos verticais usados nos ensaios experimentais: LRV de 3 cm, sistema PEH e LRV de 5cm (da esquerda para a direita)	43
Figura 43 - DL1 (<i>Data Logger</i>) da <i>Race Technology</i> , colocado no centro do veículo	44
Figura 44 - Software de Configuração do DL1, da <i>Race Technology</i>	45
Figura 45 - Gráfico de Barras da resposta à questão 1.1)	54
Figura 46 - Gráfico de barras das respostas à questão 2.3).....	55
Figura 47 - Gráfico de barras das respostas à questão 1.2).....	55
Figura 48 - Gráfico de barras das respostas à questão 2.2).....	56
Figura 49 - Gráfico de barras das respostas à questão 1.4).....	57
Figura 50 - Gráfico circular das respostas à questão 1.6)	58
Figura 51 - Gráfico circular das respostas à questão 2.7)	58
Figura 52 - Gráfico de barras das respostas à questão 3.1)	61
Figura 53 – Exemplo do layout do software de análise de dados da <i>Race Technology</i> (exemplo retirado do segundo ensaio a 20 km/h, com o <i>Renault Clío</i> a passar sobre a LRV de 3 cm).....	65
Figura 54 - Valor Médio de uma onda sinusoidal (Gopalakrishnan e Raut 2019)	72

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Acidentes com vítimas, 2018 (ANSR 2018).....	9
Quadro 2 – Vítimas, janeiro a novembro de 2018 (ANSR 2018).....	9
Quadro 3 - Acidentes por atropelamento, 2018 (ANSR 2018)	10
Quadro 4 - Habilitações Escolares dos inquiridos	49
Quadro 5 - Período do dia em que os inquiridos caminham mais frequentemente.....	50
Quadro 6 - Médias e Desvios Padrão das respostas, das perguntas em formato de escala de Likert de 1 a 5.....	51
Quadro 7 - Percentagem das respostas, das perguntas em formato de hipóteses	52
Quadro 8 - Análise ANOVA da secção 1 do inquérito - condutor	53
Quadro 9 - Análise ANOVA da secção 2 do inquérito - peão	53
Quadro 10 - Análise ANOVA da secção 3 do inquérito - moradores.....	53
Quadro 11 - Análise ANOVA da secção 4 do inquérito – sistema PEH	54
Quadro 12 - Médias por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 1.2)	56
Quadro 13 - Médias por frequência de condução do veículo de dia, das respostas à questão 1.5)b..	57
Quadro 14 - Análise ANOVA na questão 1.6).....	58
Quadro 15 - Percentagens por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 1.6)	59
Quadro 16 – Classificação das medidas do sistema PEH, segundo a média das respostas da secção 4	61
Quadro 17 - Taxa por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 4.7).....	62
Quadro 18 - Valores do LA_{eq} para diferentes velocidades, por veículo, por desnível vertical, em dBA	63
Quadro 19 - Valores do $LA_{máx}$ para diferentes velocidades, por veículo, por desnível vertical, em dBA	64
Quadro 20 - Diferenças percentuais entre as LRV e a média do sistema PEH	64
Quadro 21 - Valores da A_v , sem obstáculos, nas instalações da CMM, com o <i>Renault Clio</i>	66
Quadro 22 - Aceleração vertical, por veículo, por velocidade, por desnível vertical com a dedução aplicada, em m/s^2	67
Quadro 23 – Percentagem de diferença da aceleração vertical das LRV em relação ao sistema PEH	68
Quadro 24 - Média da aceleração vertical das velocidades de 20 e 30 km/h, por veículo, por desnível vertical, em m/s^2	69
Quadro 25 - Classificação de conforto, segundo o limite de <i>Watts</i> , das acelerações verticais, por veículo, por velocidade, por desnível vertical	69
Quadro 26 – Classificação de desconforto (ISO 1997)	70

Quadro 27 – Classificação do desconforto dos ensaios, segundo a norma ISO 2631-1:1997	70
Quadro 28 - Tempo que demora a passar cada obstáculo, por velocidade, em segundos	72
Quadro 29 - Redução de velocidade por tipo de veículo, por velocidade, por desnível vertical, em km/h	73
Quadro 30 - Percentagem de diferença da aceleração vertical das LRV em relação ao sistema.....	73

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A_H – Aceleração Horizontal [g ou m/s^2]

A_V – Aceleração Vertical [g ou m/s^2]

CMF – Crash Modification Factor [adm]

LA_{eq} – Nível de pressão sonora, ponderado A, equivalente [dBA]

$LA_{máx}$ – Nível de pressão sonora, ponderado A, máximo [dBA]

V – Velocidade [km/h]

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CE – Comissão Europeia

CMM – Câmara Municipal de Matosinhos

ERSO – European Road Safety Observatory

ETSC - European Transport Safety Council

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FHWA – Federal Highway Administration

INEM – Instituto Nacional de Emergência Médica

INES – Institut National de l'Énergie Solaire

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – International Organization for Standardization

ITE – Institute of Transportation Engineers

NASA – National Aeronautics and Space Administration

OMS – Organização Mundial da Saúde

UC – Universidade de Coimbra

ANOVA – Analysis Of Variance

BIV – Badén Inteligente de Velocidad

GPS – Global Positioning System

LRV – Lomba(s) Redutora(s) De Velocidade

PEH – Pavement Energy Harvesting

PF – Painéis Fotovoltaicos

PIB – Produto Interno bruto

PPF – Pavimento com Painéis Fotovoltaicos

RCB – Rácio Custo-Benefício

SEM – Sistemas Eletromecânicos

SPE – Sistemas Piezoelétricos

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TRL – Technology Readiness Level

adm – Adimensional

n.a. – Não aplicável

1

INTRODUÇÃO

1.1 FUNDAMENTOS E ENQUADRAMENTO DO TEMA

Os acidentes são, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a principal causa de morte de crianças e jovens adultos, com idades compreendidas entre os 5 e 29 anos. Em 2016, 1.35 milhões de pessoas faleceram em acidentes relacionadas com o tráfego nas estradas. Além disso, mais de metade dessas mortes envolvem peões, ciclistas e motociclistas, como se pode ver na Figura 1. Para além do sofrimento causado, as mortes também têm consequências no setor económico, custando, em média, 3% do produto interno bruto (PIB) aos países afetados.

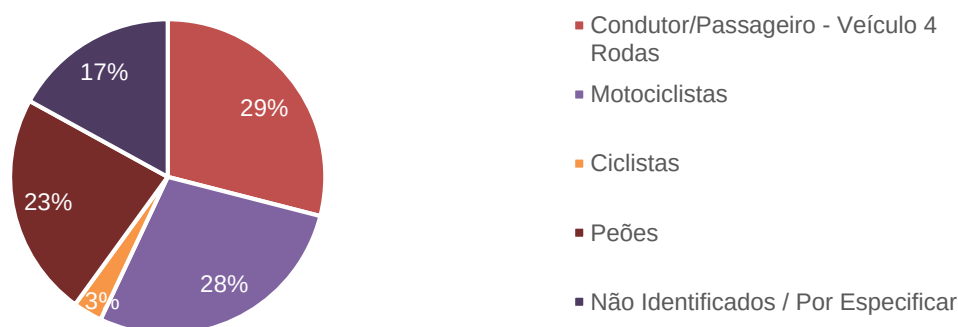


Figura 1 - Mortes relacionadas com tráfego rodoviário, por tipo de usuário (OMS 2018)

Apesar do rácio entre a população e as mortes ter estabilizado, a meta proposta pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que visa reduzir os óbitos para metade, até 2020, não será cumprida (OMS 2018).

A principal causa de ocorrência de vítimas de acidentes é o excesso de velocidade, que diminuí a hipótese de sobrevivência à medida que a velocidade aumenta. Esta relação é particularmente preocupante no que toca aos atropelamentos, como mostra a Figura 2, visto que o aumento da taxa de mortalidade dá-se, sobretudo, entre os 20 e os 70 km/h (ETSC 2008). Outros dados defendem que a velocidade de 80 km/h tem 20 vezes mais hipóteses de causar vítimas mortais do que uma velocidade de 30 km/h (FHWA 2013). Há uma pequena discrepância entre gráficos do mesmo tipo da ETSC e dos inúmeros dados tabelados como os da FHWA (*Federal Highway Administration* – uma das

administrações do Departamento dos Transportes dos Estados Unidos da América), mas todos apontam para algo que se aproxima da Figura 2.

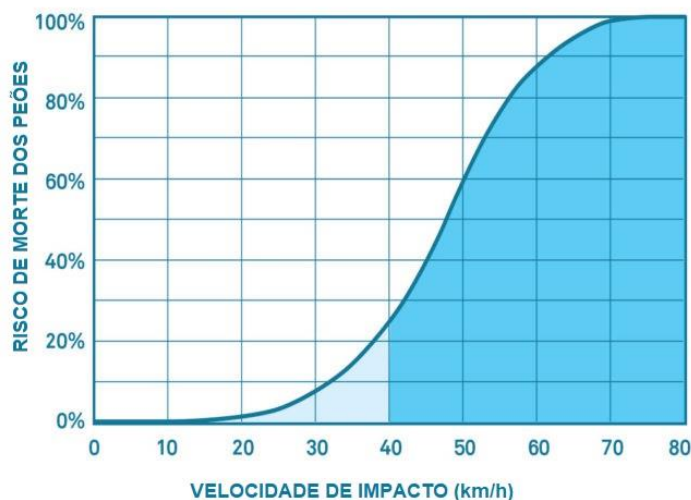


Figura 2 - Risco de morte dos peões em função da velocidade de impacto (ETSC 2008)

Assim sendo, torna-se urgente diminuir o excesso de velocidade, para que os danos causados pelos atropelamentos sejam reduzidos, quer no número de vítimas, quer na gravidade das mesmas através da velocidade a que se dá o impacto entre o veículo e o peão. Esses incidentes, segundo o estudo mais recente da *Fundación Mutua Madrileña* (Companhia de Seguros de Madrid) sobre acidentes rodoviários e atropelamentos em Espanha (2013), dão-se sobretudo nas passeadeiras (70%), sendo que 45% dos mesmos acontecem à noite (Albusac et al. 2018).

Com o crescimento do número de veículos e da velocidade dos mesmos, naturalmente, surgiram as medidas de acalmia de tráfego, sendo a Alemanha, Holanda e Dinamarca os países pioneiros. Até então, as estradas tinham sido projetadas tendo apenas em mente o fluir constante do tráfego, sem grande preocupação com todos os possíveis usuários das vias de comunicação. Ao adaptar estas medidas, a qualidade de vida dos utilizadores aumenta, através da redução das condições negativas trazidas pela circulação dos veículos e as velocidades excessivas que praticam (Jiang, Jiang e Qin 2015; Duarte 2017).

Por entre todas as medidas existentes, as de aplicação mais comum são os desníveis verticais inseridos no pavimento que fazem com que, direta ou indiretamente, a velocidade do veículo seja reduzida. Os desníveis verticais podem dividir-se em três grandes tipos: lombas, passeadeiras elevadas e plataformas elevadas. Destes últimos, o desnível mais comum é a lomba, cuja designação técnica, que vai passar a ser utilizada doravante, é lomba redutora de velocidade (LRV).

No entanto, já inúmeros estudos publicados sobre as LRV, apontam para uma possível ineficácia. Isto porque os referidos estudos são contraditórios entre si, ou até inconclusivos. Até mesmo em estudos que defendem o uso desta medida de segurança rodoviária revelam graus de eficácia demasiado dispares. Isso faz com que as conclusões dos mesmos sejam questionáveis e, consequentemente, inadequadas para serem usadas como base, para estudos futuros. Outro fator importante é a variedade de formas que as lombas podem ter, que muitas vezes não é referida nos estudos, originando assim resultados diferentes. Este aspeto será tratado no capítulo 2 desta dissertação.

Exemplo disso, é: o caso que defende que a eficácia das LRV é praticamente nula, sendo que a verdadeira influência sobre a velocidade dos condutores recai sobre a geometria da estrada (Pau e

Angius 2001). Outro estudo mostra que, após a colocação de uma LRV, ocorreu uma redução de 56 % dos feridos por atropelamento e uma diminuição de 90 % das mortes, pela mesma razão, através da redução da velocidade praticada na zona de apenas 18 km/h (Gifford 2004). Por outro lado, outro estudo mostra que após a instalação de uma LRV os resultados da redução de velocidade foram excecionalmente altos, mas que a eficácia dependia do tipo de veículo que passava na lombra (Jing et al. 2018).

Estes exemplos salientam que ainda existe espaço para inovar nesta área, tendo mais recentemente surgido medidas tecnológicas com potencial de eficácia, principalmente, enquadradas em conceitos como *Smart City* ou *Sustainable Mobility*. Em Portugal foi desenvolvido um sistema de *Pavement Energy Hatvesting* (PEH) que é um sistema mecânico, podendo definir-se como lombra cinética, que pretende substituir as LRV, tendo como pontos promissores: redução de velocidade, independente da decisão do condutor; produção e armazenamento de energia 100 % renovável, que serve quer para alimentar a iluminação em redor quer para possíveis carregamentos de veículos elétricos; recolha de dados de tráfego; redução do ruído e danos nos veículos (comparado com as LRV), através da absorção do impacto. Todos estes aspetos serão devidamente descritos mais à frente na dissertação.

1.2 OBJETIVOS

Tendo como principal objetivo analisar sistemas inovadores na área de acalmia de tráfego e em particular o sistema nacional PEH, o presente estudo tem como objetivo analisar a opinião dos utentes da via pública sobre os existentes dispositivos de segurança para a redução de velocidade e a introdução de medidas inovadoras como o sistema mecânico PEH. Para completar esta análise, pretende-se ainda realizar duas medições experimentais: um estudo de ruído do equipamento através de um ensaio normalizado e outro onde irá ser medido o impacto do veículo aquando da passagem sobre o equipamento.

É, portanto, necessário investigar outras soluções, existentes no mercado ou ainda em fase de desenvolvimento, alternativas à analisada no presente estudo, quer sejam as tradicionais, ou inovadoras. Por entre as diferentes opções mais atuais, pretende-se analisar as medidas existentes semelhantes às do sistema mecânico nacional, mesmo que essa correspondência seja somente parcial.

Portanto, por um lado, irão ser analisadas a predisposição das pessoas para adotar uma nova solução através da realização de inquéritos, realizados quer online quer em forma de “entrevista cara-a-cara”, sendo este último feito em três localidades: Lisboa, Porto e Gaia.

Por outro lado, será realizada uma análise comparativa do sistema PEH com as medidas tradicionais. Para tal serão comparados os parâmetros de ruído e acelerações vertical e horizontal, identificando-se dessa forma potenciais vantagens em usar o sistema PEH.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No presente capítulo, apresenta-se os aspetos gerais que dizem respeito ao tema da dissertação, através de um breve enquadramento. Para além disso, estão dispostos neste primeiro capítulo os objetivos a cumprir e a estrutura do documento. Por fim, será descrita a calendarização dos trabalhos e a análise de riscos adjacentes a este tipo de dissertação.

No segundo capítulo, são apresentadas em detalhe as medidas de acalmia de tráfego, tanto as tradicionais como as inovadoras. Será ainda incluída a descrição pormenorizada do sistema PEH. No final estará presente uma síntese conclusiva, que sintetiza o capítulo.

No capítulo três, será apresentada a metodologia de estudo incluindo a descrição dos inquéritos realizados aos utentes da via pública, tendo em conta os objetivos pretendidos. A descrição dos ensaios de medição dos parâmetros de ruído e impacto no veículo, e métodos de medições, para efeitos de comparação e todas as condicionantes e fatores que influenciam os ensaios, também entram neste capítulo. No final, estará presente uma reflexão crítica que sugere melhorias aos métodos de medição usados.

No capítulo quatro, estará presente a análise dos resultados relevantes obtidos dos inquéritos e ensaios experimentais. Este finda com uma reflexão crítica, que resume o que foi dito durante o capítulo e que sugere mudanças futuras que levem a uma obtenção de resultados mais eficaz.

No último e quinto capítulo serão dispostas as conclusões finais resultantes da análise efetuada durante toda a dissertação. Serão também mencionadas perspectivas futuras.

1.4 CALENDARIZAÇÃO DOS TRABALHOS

De referir que o presente estudo foi realizado em ambiente empresarial, nomeadamente na empresa Pavnext, que é a responsável pelo desenvolvimento do sistema PEH. Nesse sentido, o cronograma de trabalhos foi ajustado aos desenvolvimentos do sistema a decorrer durante o presente estudo. Numa primeira fase acompanhou-se a finalização da prototipagem do produto em si, considerando apenas e somente o sistema mecânico. Após esta fase, testes no terreno foram realizados para avaliar a funcionalidade do produto. Esta fase teve uma duração inicial de, sensivelmente, 2 meses. Contudo, melhoramentos foram requeridos para garantir o funcionamento do equipamento. Assim, é de referir que até ao final da dissertação e certamente após a finalização da mesma, o protótipo foi e será sujeito a contínuas intervenções de melhoramento, bem como testes de forma a garantir que o sistema é adaptável a toda e qualquer situação.

Mais tarde, foram adicionados os componentes eletrónicos ao protótipo para que as funções do mesmo não se remetessem somente à redução de velocidade do veículo, independente do condutor. Esta fase teve como objetivo adicionar as funções de recolha de dados de tráfego e *energy harvesting*. A implementação destes componentes teve uma extensão, de aproximadamente, 3 meses, sendo que começou 1 mês depois da fase anterior.

De seguida, com a implementação no terreno do protótipo finalizado, os ensaios para medição dos parâmetros puderam ser realizados, com o objetivo de comparar as LRV com o sistema PEH. Simultaneamente, foram realizados os inquéritos para avaliar a opinião dos utentes da via pública, relativo às medidas de acalmia de tráfego, bem como a potencial aceitação de uma nova solução, do tipo PEH. Esta parte, preenche a fase final da dissertação, bem como a análise de resultados, provenientes das diversas fases, anteriormente descritas.

1.5 ANÁLISE DE RISCOS

Numa primeira fase a prioridade recai sobre a finalização da prototipagem do produto em si, não tendo em conta mais nada sem ser o funcionamento mecânico, como já foi descrito no subcapítulo anterior (1.4). No entanto, essa mesma finalização pode ser considerada uma tarefa infundável, visto que há a possibilidade constante de melhorias, quer por mudanças de design, de material ou até através de abordagens completamente diferentes. Os testes também, ditaram muitas vezes o repensar do protótipo e das vantagens e desvantagens de adotar determinadas medidas. Assim, aquando de um resultado menos

expectável, a duração da produção de um módulo Pavnext, que colmatasse os erros detetados, aumenta indesejavelmente.

De referir o risco, aquando da realização de inquéritos em tempo útil, da obtenção de uma amostra reduzida, tendo que se reduzir a fase de testes ao tipo de questões a considerar. Isto porque, existem inúmeros fatores, relacionados com a psicologia humana, que podem ditar e influenciar os resultados. Outro fator que pode influenciar os resultados é o facto de os inquéritos serem realizados por dois métodos distintos: presencialmente, onde os inquiridos são abordados em locais públicos e de potencial interesse para o objetivo do questionário; online, onde os inquéritos foram enviados por email ou publicados nas redes sociais para obter o maior número possível de respostas. Com isto a análise dos resultados dos questionários fica sujeita a limitações e/ou condicionantes indesejáveis para os objetivos do estudo, mas que podem ser ultrapassadas em futuros estudos que se suportem no presente trabalho.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 INTRODUÇÃO HISTÓRICA DAS MEDIDAS DE ACALMIA DE TRÁFEGO

Com o constante aumento da população mundial e a consequente inevitabilidade da deslocação da mesma, surge a necessidade de infraestruturas que a suportem. Assim sendo, acontece a evolução da dimensão e complexidade das vias de comunicação, que por sua vez requer uma contínua melhoria e monitorização da segurança, de tudo o que envolve os sistemas rodoviários. Portanto, para acompanhar todo este desenvolvimento, novas medidas de segurança e prevenção rodoviária foram surgindo ao longo do tempo.

Ou seja, o planeamento urbano, passa a basear-se sobretudo na circulação automóvel, sendo que este é meio de transporte de eleição na maior parte das cidades. Consequentemente, surgem os conflitos entre os automobilistas e os restantes usuários da via pública, designadamente os utilizadores mais vulneráveis: ciclistas e peões. Assim, a segurança e qualidade de vida e segurança dos usuários começam a entrar em decadência, pondo em causa o bom funcionamento das vias de comunicação. Surge então a necessidade de restringir a liberdade de circulação ou até a forma de circulação dos veículos. Surgiu assim o conceito de “Medidas de Acalmia de Tráfego” (Silva 2010).

Os primeiros vestígios da utilização destas medidas advêm do século XX, mais concretamente em meados de 1920, na Alemanha. A medida em si, consistiu na criação de uma área exclusivamente para peões, que hoje é conhecida como área pedonal (Jiang, Jiang e Qin 2015). Contudo, mais tarde, este conceito ressurgiu com mais relevância, em 1970, na Holanda, mais concretamente na cidade de Delft, onde surge uma das primeiras lombas redutoras de velocidade, tendo esta 8 cm de altura. Na altura o carro era visto como um símbolo de progresso, mas apesar deste “obstáculo” ter causado reações mistas, a população holandesa apelou aos governantes o uso desta e outras medidas, sendo que resultou, efetivamente na aplicação das mesmas em cidades como Roterdão e Gouda (Schlabach 1997).

Com esta atitude inesperada, os Países Baixos revolucionam a gestão de tráfego, sendo que esta visão inicial sobre as medidas de acalmia de tráfego culminou na criação de normas técnicas e legislação. Estas recaíam sobretudo nas áreas residenciais, que eram designadas por *woonerf*. Estas zonas têm como principal diretriz remover o automóvel do foco central, para que todos os utentes possam disfrutar da via de circulação, procurando que ciclistas e pedestres se sintam seguros ao utilizarem este tipo de zonas, partilhando-o com os veículos. Para isso, as *woonerf* recorrem a baixos limites de velocidade, número elevado de curvas e obstáculos físicos (Wysocki, Ksi e Kucz 2017), como se pode ver nos exemplos das Figuras 3 e 4. Em setembro de 1976, estas normas foram publicadas no âmbito europeu, pelo Ministério Holandês dos Transportes e Obras Públicas. Este é um feito inédito para a altura, não havendo quaisquer precedentes de algo semelhante (Schlabach 1997).



Figura 3 - exemplo de um *woonerf*



Figura 4 - exemplo de um *woonerf* devidamente sinalizado

Depois da introdução desta novidade, por parte dos holandeses, os restantes membros da União Europeia começaram a adotar este conceito, sendo que o norte e centro da Europa foram os mais rápidos a aderir a esta nova visão de gestão de tráfego. Destes países, destacam-se a Alemanha e Dinamarca, que aderiram à nova ideia, quase instantaneamente (Silva 2010).

Com as medidas de acalmia de tráfego a ganharem força em toda a Europa, em meados de 1990, a sua aplicação passou a ser uma prática comum na maior parte dos países, chegando também a Portugal, nesta altura, mas com menos impacto. Da mesma forma, as medidas de acalmia de tráfego foram sendo introduzidas e aplicadas um pouco por todo o mundo, passando os veículos e restantes utentes a partilhar o espaço da via pública de maneira mais segura e fluida (Silva 2010).

2.2 PROBLEMÁTICA DOS ACIDENTES

Com o crescimento da necessidade de deslocação, esta passou a ser feita de maneira mais rápida. Isto foi possível devidos aos avanços tecnológicos das viaturas e à constante adaptação das infraestruturas que permitissem uma viagem segura, no menor tempo possível. Assim, nos dias de hoje, existe uma obrigação de assegurar que os limites máximos de velocidade possam ser praticados, com o objetivo final da movimentação da população, com o menor número possível de acidentes.

No entanto, nunca será possível garantir a total ausência de acidentes rodoviários e os mesmos têm de ser tidos em conta. Para além de se ter noção, através de dados recolhidos pelas autoridades responsáveis, que por sua vez dão lugar aos relatórios e estatísticas, as entidades responsáveis passam a saber onde e como melhor atuar para contrariar uma hipotética tendência negativa que põe em causa a segurança dos usuários das vias de comunicação.

De acordo com a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), entre janeiro e novembro de 2018, ocorreram 31214 acidentes com vítimas, sendo que 2101 desses acidentes causaram feridos graves e/ou vítimas mortais. Em 422 desses acidentes deram origem a 460 óbitos. Foi também calculado um índice de gravidade de 1,5, para o mesmo intervalo de tempo em 2018. Este índice, indica o número de mortos por cada centena de acidentes com vítimas (ANSR 2018).

Comparando estes dados com o mesmo período do ano anterior, há uma diminuição pouco significativa, se bem que sempre bem-vinda, com a exceção do índice de gravidade que se manteve. Pode-se também verificar uma diminuição geral do número de acidentes ao longo dos anos, com algumas flutuações, como se pode ver no Quadro 1.

Quadro 1 – Acidentes com vítimas, 2018 (ANSR 2018)

Ano	Acidentes c/ vítimas	Acidentes c/ mortos	Acidentes c/ mortos e/ou f. graves	Índice de gravidade
2009	32305	621	2542	2,1
2010	32260	601	2546	2,1
2011	29861	574	2406	2,1
2012	27241	482	2078	1,9
2013	27449	424	1963	1,7
2014	28035	405	2096	1,5
2015	29211	404	2157	1,5
2016	29627	382	2016	1,4
2017	31333	438	2180	1,5
2018	31214	422	2101	1,5

Apesar do número de acidentes com vítimas ter diminuído até 2013, seguido de um aumento a partir de 2014 o mesmo não se sucede com os acidentes com fatalidades que variou ligeiramente, tendo o melhor resultado sido em 2016. No entanto a tendência decrescente no número de falecidos na estrada inverteu-se a partir 2014, tendo quase sempre aumentado desde então como se pode constatar no Quadro 2 (ANSR 2018).

Quadro 2 – Vítimas, 2018 (ANSR 2018)

Ano	Vítimas mortais	Feridos graves	Feridos leves	Total de vítimas
2009	680	2395	39817	42892
2010	664	2415	40019	43098
2011	625	2223	36421	39269
2012	526	1886	32991	35403
2013	466	1828	33288	35582
2014	429	1954	33959	36342
2015	439	2064	35478	37981
2016	407	1930	35867	38204
2017	460	1999	38004	40463

2018	460	1928	37715	40103
-------------	-----	------	-------	-------

O fator diferenciador, mais relevante, entre acidentes é a localização dos mesmos: dentro ou fora das localidades. Por exemplo, em 2018, também dentro dos primeiros onze meses do ano, ocorreram 24176 dentro das localidades acidentes com 222 mortes (índice de gravidade de 0,9), perfazendo um total de 29822 vítimas. Já fora das localidades, registaram-se 238 mortes em 7038 acidentes, resultando num índice de 3,4, com um total de 10281 vítimas contabilizadas. Ou seja, a gravidade dos acidentes é maior apesar dos mesmos ser menos um terço dos acidentes dentro das localidades. Isto porque fora das localidades as velocidades praticadas são maiores, mas há menos interação com os usuários mais vulneráveis: peões e ciclistas.

Assim podemos concluir que a maior parte dos acidentes (77%) ocorre dentro das localidades, sendo que a maior parte dos mesmos envolve os peões. Logo, um dos grandes problemas a corrigir é o número excessivo de atropelamentos, cujo número de vítimas mortais aumentou cerca de 21 % de 2017 para 2018, sendo que o índice de gravidade também aumentou de 1,5 para 1,8, como se pode ver no Quadro 3 (ANSR 2018).

Quadro 3 - Acidentes por atropelamento, 2018 (ANSR 2018)

Ano	Acidentes c/ vítimas	Vítimas Mortais	Feridos Graves	Feridos Leves	Total de Vítimas	Índice de Gravidade
2009	5136	113	433	4974	5520	2,2
2010	4994	58	433	4873	5391	1,7
2011	4926	100	458	4765	5323	2
2012	4278	97	385	4202	4684	2,3
2013	4587	86	409	4436	4931	1,9
2014	4544	73	399	4396	4868	1,6
2015	4572	76	424	4447	4947	1,7
2016	4658	70	404	4608	5082	1,5
2017	4772	72	381	4679	5132	1,5
2018	4736	87	367	4670	5124	1,8

No entanto o número total de mortes de peões, entre janeiro e novembro de 2018, dentro e fora das localidades, é igual a 93. Este valor, face aos 76 do ano anterior, mostra um aumento de 22 %, o que torna o cenário ainda mais preocupante. A faixa etária mais afetada pelos atropelamentos são, como seria de esperar, os idosos. Dos 93 peões mortalmente atropelados, 40 têm idade superior ou igual a 65 anos. Ou seja, praticamente metade (43%) dos peões atropelados são idosos (ANSR 2018).

De acordo com a Comissão Europeia (CE), Portugal conseguiu atingir uma diminuição significativa no número de mortes por milhão de habitantes desde 2010, chegando aos 35 %. No entanto a de 2017 para 2018 esse valor cresceu 1 %, totalizando as 59 mortes por milhão de habitantes (CE 2019).

Segundo os dados mais atuais, por parte da ANSR, no primeiro semestre de 2019 ocorreram 224 mortes nas estradas portuguesas. Mais seis do que no mesmo período do ano passado. Também tiveram lugar este ano 994 feridos graves, mais 101 do que no ano passado. Isto tudo apesar de o número de acidentes

ter decrescido em 382, mostra que a tendência do aumento de gravidade dos acidentes se vai manter, mesmo que estes diminuam em quantidade (ANSR 2019).

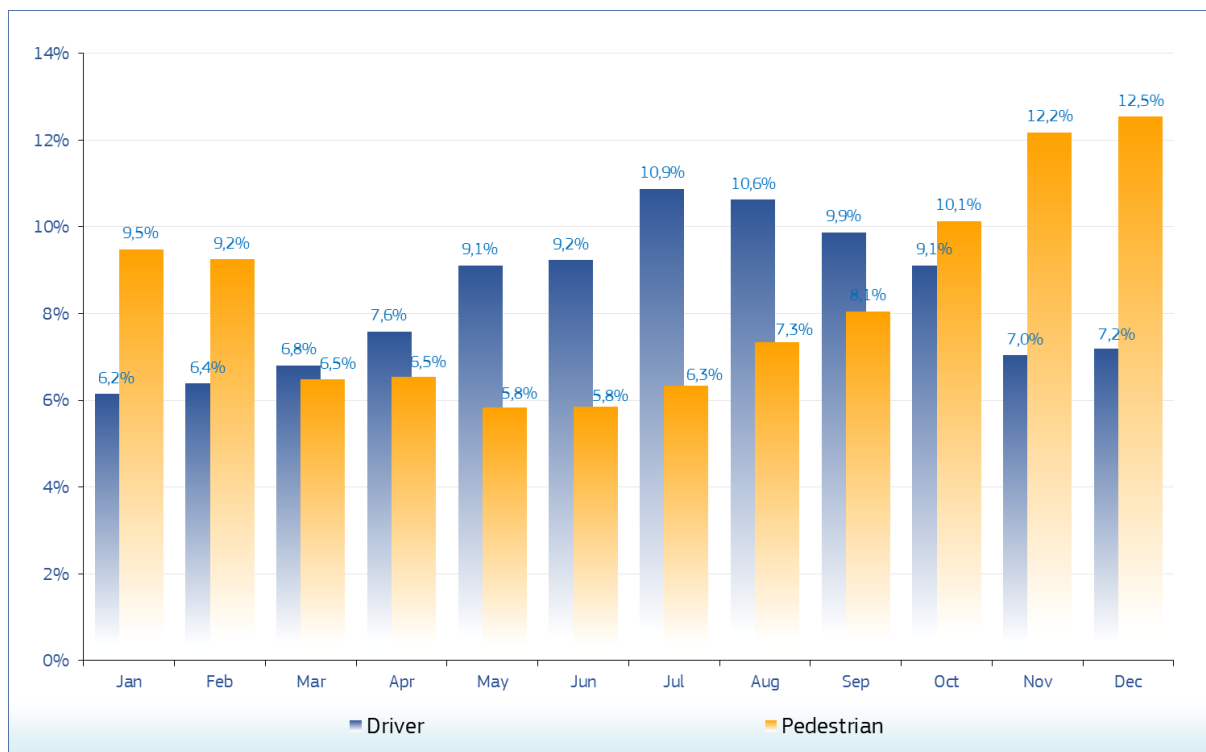


Figura 5 – Número de mortes, por mês, por tipo de utente da via na União Europeia, 2016 (ERSO 2019)

Já num cenário europeu, segundo a ERSO (*European Road Safety Observatory*), as mortes causadas por acidentes rodoviários, em 2016, distribuem-se pelas seguintes localizações: 8 % em autoestradas, 38 % em áreas urbanas e 54 % em estradas rurais (não autoestradas). No que toca ao tipo de utentes afetados, os peões chegam a atingir 22 % do total de mortes, sendo que houve um aumento relativamente ao ano anterior (2015) de 1 % de mortes de peões. Desses peões (5527), 35 % são do sexo feminino e os restantes 65 % do sexo masculino. Também no cenário europeu se verifica o mesmo que em Portugal: as mortes dos peões recaem sobretudo pela faixa etária mais elevada, sendo que aqui, o grupo etário com 65 ou mais anos de idade, atinge os 47 % (ERSO 2019).

Outro dado curioso mostra, como se pode ser na Figura 5, que as mortes de peões acontecem nas estações do ano mais frias, sendo que o contrário se sucede para os condutores. Já, no que diz respeito às horas onde se registam mais acidentes, a Figura 6 mostra que, como seria de esperar, as horas de ponta de manhã e de tarde, são onde ocorrem o maior número de fatalidades. Também é de notar que a hora de ponta da tarde é muito mais grave que a da manhã, especialmente para os peões (ERSO 2019).

Os acidentes têm também outro impacto, para além das mortes e feridos, que por si só já é bastante grave. Segundo o secretário de Estado da Proteção Civil, a sinistralidade rodoviária tem um impacto negativo, económico e social é equivalente a 1,2 % do PIB nacional, o que equivale a 2,3 mil milhões de euros. Isto deve-se, também, ao facto de 77 % dos acidentes ocorrerem dentro das localidades (Neves 2018).

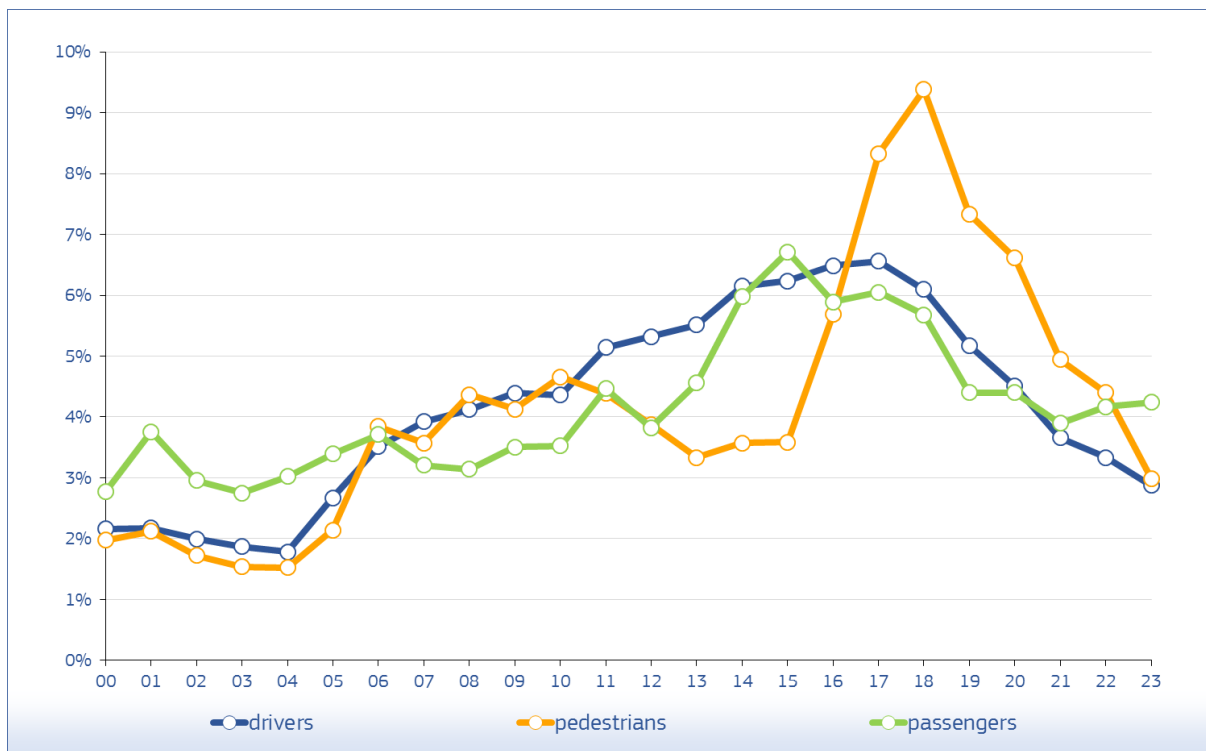


Figura 6 – Distribuição das mortes por hora, por tipo de utente da via, na União Europeia, 2016 (ERSO 2019)

2.3 PROBLEMÁTICA DO EXCESSO DE VELOCIDADE

O avanço das medidas de segurança deveu-se, como já foi dito nos subcapítulos anteriores, à necessidade de integrar eficazmente todos os utentes, principalmente os mais vulneráveis, nas vias de comunicação. Mas, de uma maneira geral, os excessos de velocidade fizeram com que houvesse uma maior preocupação em reduzi-los, provocando assim um avanço da segurança rodoviária.

Para além disso, como se viu no subcapítulo anterior (2.2), a evolução dos acidentes no âmbito nacional é maioritariamente positiva. Isto apesar de haver uma subida na gravidade dos acidentes que fez com que ocorressem mais mortes. Este cenário verifica-se sobretudo dentro das localidades, afetando sobretudo os usuários mais vulneráveis (Silva 2010).

A velocidade de circulação é apontada, pelas entidades responsáveis, como uma das causas da gravidade e da frequência dos acidentes, sendo mesmo tomada como a principal responsável pelos acidentes em Portugal (MAI 2003). É também tida como o principal risco noutros países, como os Estados Unidos da América, onde, em 2009, foi responsável por 31 % dos acidentes fatais (Zhao e Wu 2012).

Isto pode ser justificado através de equações do campo da física, onde se relacionam velocidades de impacto, gravidade do ferimento e energia cinética. Estes aspetos reforçam o papel central da velocidade nos acidentes de viação e consequentes mortes e/ou ferimentos graves (Richter et al. 2006).

Esta subida da frequência e severidade dos acidentes, através do aumento da velocidade, já foi estudada e comprovada por inúmeros autores (Kockelman et al. 2006; Hakkert, Gitelman e Vis 2007; Sadauskas 2007; Sadauskas e Pumputis 2003).

De facto, com ligeiras variações, a correlação é defendida por vários estudos. Tranter (2010) indica que existiria um aumento de 3 % nos acidentes com feridos, com a subida de apenas 1 km/h, na velocidade

dos veículos. Esta pequena subida seria também responsável por um aumento entre 4 a 5 % nos acidentes onde ocorram pelo menos uma morte (Tranter 2010). Noutro estudo, na Suécia, Nilsson (1981) indica que, a descida da velocidade média do tráfego na ordem dos 3,5 a 5 %, traria uma benéfica diminuição no número de vítimas mortais, sendo que haveria a hipótese de poupar 21 % dos usuários das vias de circulação (Nilsson 1981). Ainda noutro estudo, Taylor et al. (2000) afirma que é possível reduzir a frequência de acidentes em 5 % se se diminuir a velocidade de circulação em 1,6 km/h (Taylor, Lynam e Baruya 2000).

Outro aspeto relevante, é que ao aumentar a velocidade o condutor vai perdendo gradualmente as suas capacidades cognitivas e visuais. Um exemplo disso é o facto do campo de visão ser severamente afetado à medida que a velocidade de circulação também sobe (Wolfe et al. 2017), como se pode ver na Figura 7. Observando essa figura, denota-se que com o aumento da velocidade, o ângulo do campo de visão diminui substancialmente, podendo o condutor, deixar de se aperceber de determinados detalhes, mais propriamente movimentações nas fronteiras da faixa de rodagem. Conjugado a isso o aumento de velocidade também traz outras desvantagens: redução do tempo de reação para apreender e tratar informação necessária para tomar decisões. Outro exemplo é o facto do aumento da velocidade prejudicar gradualmente a distância de reação e respetiva travagem (Yang, Song e Yang 2016).

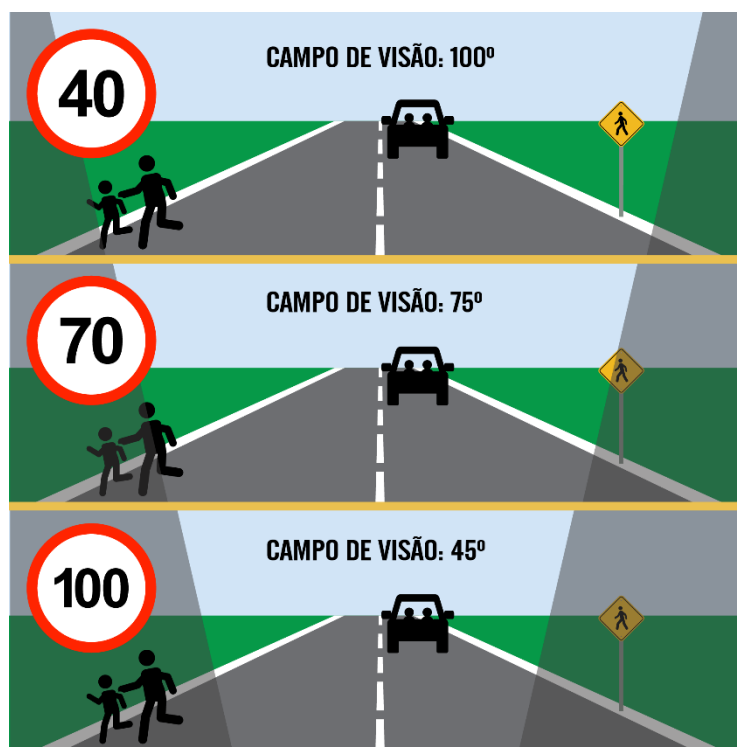


Figura 7 – Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades (Wolfe et al. 2017)

Atendendo agora à relação da velocidade com acidentes que envolvem peões, estes têm grande probabilidade de sustar danos irreversíveis (ferimentos graves), ou até mesmo falecer a partir dos 50 km/h. Se a velocidades média de circulação do veículo, aquando do embate, for inferior a 30 km/h os danos sentidos pelo peão serão muito provavelmente nulos, isso significando que sobreviveriam com danos pouco profundos (Kröyer 2015). Esta relação entre a velocidade e os danos nos peões é visível na Figura 8.

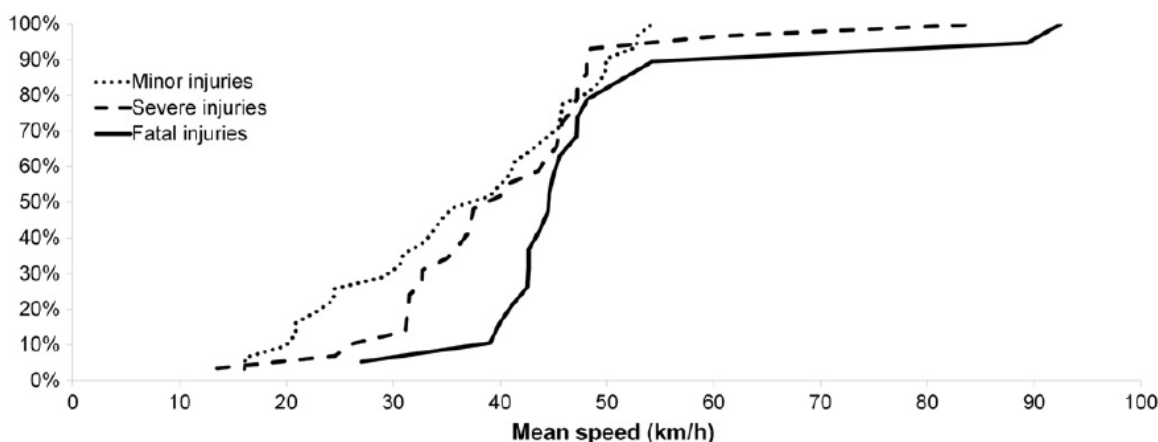


Figura 8 – Distribuição cumulativa das velocidades médias de atropelamento, por grupo de severidade de danos sofridos (Krøyer 1915).

Tudo o que foi mencionado até agora, neste subcapítulo, mostra que é de elevada importância controlar as velocidades praticadas pelos condutores. Até porque os dados dos acidentes, descritos no subcapítulo anterior, mostram a necessidade de medidas para proteger os utentes das vias, nomeadamente os peões. É também fulcral a atuação na sinistralidade com medidas que possam garantir que seja possível atingir a meta europeia de reduzir os óbitos para metade, já em 2020 (OMS 2018).

Portanto, para isso não basta impor limites de velocidade, visto se tratar de uma medida pouco eficaz (Silva 2010). De acordo com estudos europeus estima-se que esses limites são excedidos por cerca de 50 % dos condutores (Yannis et al. 2013; OECD/ECMT 2006).

A necessidade de alterações físicas às infraestruturas para que se possa melhor moderar o comportamento dos condutores, passa a ser algo consensual. Com a devida atenção a cada caso e local, as medidas de acalmia de tráfego conseguem ter uma elevada taxa de sucesso, especialmente em áreas com carência especial, como é o caso das zonas residenciais (Silva 2010).

2.4 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE ACALMIA DE TRÁFEGO

A análise da eficiência associada à instalação de diferentes medidas de acalmia de tráfego é uma tarefa difícil, sendo que não há indicadores claros que possam afirmar o benefício de determinada medida, ou até escolher determinada infraestrutura em vez de outra. Até porque cada caso tem uma imensidão e complexidade de fatores que podem fazer variar o resultado final. Os estudos científicos, apesar de por vezes mostrarem a importância e eficácia de uma certa medida, reconhecem que tal pode ter acontecido devido à favorabilidade dos fatores desse caso específico. Por isso, a maior parte dos autores acabam sempre por concluir em aberto, deixando assim margem para dúvida (Pau e Angius 2001).

Na tentativa de mitigar essa incerteza, inúmeras ferramentas foram desenvolvidas por algumas organizações governamentais. Dessas, destacam-se a *SafetyCube DSS* e a *CMF Clearinghouse*.

A primeira trata-se de uma iniciativa europeia, no âmbito de um projeto europeu, que se designa como *European Road Safety Decision Support System (DSS)*. Como a tradução literal indica, refere-se a um sistema de suporte de decisões relacionadas com a segurança rodoviária. Fá-lo através da conjugação do conhecimento de riscos e medidas a tomar, tendo para isso uma base de dados extensa, chegando a superar 1250 estudos. Através da junção de estudos que revisam determinada medida esta recebe uma

classificação final relativa à sua eficácia. Devido à constante atualização deste sistema, diferentes projetos/estudos são gradualmente adicionados ao mesmo, havendo a possibilidade de uma certa infraestrutura poder mudar futuramente. A classificação pode variar entre: inconclusivo, provavelmente eficaz e eficaz. Esta plataforma também proporciona também análises custo-benefício, mas apenas para uma pequena porção das medidas de segurança (Yannis et al. 2018).

A segunda iniciativa provém dos Estados Unidos da América, mais propriamente da *Federal Highway Administration* (FHWA). A sigla CMF (*Crash Modification Factor*), como o nome indica, refere-se a um fator modificativo dos acidentes. Ou seja, é um fator multiplicativo usado para estimar o número de acidentes depois de uma dada medida ser aplicada. Para obter essa estimativa, o CMF deve ser multiplicado pela estimativa de acidentes, antes de ser aplicada a dita medida de segurança. Logo, o resultado será positivo se o CMF for menor que 1, visto que trará uma diminuição na frequência de acidentes e vice-versa. Para estimar o CMF é necessário recorrer a uma série de cálculos estatísticos, baseados no nível de confiança e no desvio padrão (Gross, Persaud e Lyon 2010). No entanto, a AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Officials*) aconselha cautela na utilização dos CMFs (AASHTO 2010).

A grande diferença entre as duas ferramentas acima descritas é que o CMF é aplicado para cada medida distinguindo-se para a mesma medida o caso de estudo o tipo de acidente, a zona de embate, o tipo de utentes envolvidos, a severidade dos feridos envolvidos e mortalidade. Torna-se assim impossível a comparação entre CMFs. Já no *SafetyCube* sempre que se trata da mesma medida aplicada, os estudos são comparados entre si para dar uma nova classificação final.

De seguida, serão apresentadas e classificadas, de acordo com as duas ferramentas aqui referidas, as principais medidas de acalmia de tráfego que pretendem sobretudo a redução e controlo da velocidade e consequente diminuição dos acidentes rodoviários.

2.4.1 ESTRANGULAMENTO

Esta medida, exemplificada na Figura 9, foi tida como provavelmente eficaz pelo *SafetyCube*, sendo que foi demonstrado através dos estudos incluídos para esta medida (Hedayeghi et al. 2006; Montella et al. 2011; Bella e Silvestri 2015; Mountain, Hirst e Maher 2005), e de uma maneira geral, que a frequência de acidentes decresceu e a velocidade dos veículos diminuiu. No entanto, a medida não teve a melhor classificação pois alguns dos resultados obtidos não eram estatisticamente significativos, sendo que no estudo de Hedayeghi et al. (2006) a diferença entre o antes e depois da aplicação era praticamente insignificante.

Já no caso dos CMF, há apenas dois estudos para esta medida (Abdel-Aty et al. 2014; Hughes, Jagannathan e Gross 2008), mas que envolvem o cálculo de 22 CMFs. Tirando um dos casos analisados por Abdel-Aty et al (2014), em que todos os CMFs são maiores que um, praticamente todos os resultados mostram ser positivos estando alguns bem abaixo do valor recomendado.

De uma maneira geral as duas avaliações da medida estrangulamento estão em concordância. Como tal, a medida é em geral eficaz, pese embora alguns estudos não terem sido conclusivos.



Figura 9 - Exemplo de um estrangulamento em Londres, Inglaterra (Right Driver Mock Theory Tests)

2.4.2 ZONAS ESCOLARES

A sinalização de zonas escolares, tal como mostra o exemplo na Figura 10, foi classificada como provavelmente eficaz pelo *SafetyCube*, pois os diversos estudos sobre a mesma (Fitzpatrick, Brewer e Park 2010; Kattan, Tay e Acharjee 2011; O'Brien e Simpson 2012; Strawderman et al. 2015) mostram que a velocidade tende a diminuir, mas não o suficiente para atingir um limite de velocidade seguro. Nos casos de estudo de Fitzpatrick et al. e Strawderman et al., a velocidade aumentou nalgumas zonas, após a aplicação da medida.



Figura 10 - Exemplo de uma zona escolar na Austrália (Carsguide)

Segundo a análise do CMF, existem dois estudos (Gutierrez et al. 2008; Feldman, Manzi e Mitman 2010), que totalizam a estimação de 8 CMFs. De uma maneira geral, os valores do CMF são próximos da unidade, sendo que a maior parte dos valores é menor que 1, tornando a categorização desta medida como relativamente aceitável.

Mais uma vez ambas as avaliações estão em concordância, mostrando que a sinalização das zonas escolares tem potencial.

2.4.3 DIMINUIÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE

Esta medida, exemplificada na Figura 11, sendo classificada como eficaz pelo *SafetyCube*, foi abordada por diversos autores (Long et al. 2006; Islam, El-Basyouny e Ibrahim 2014; Elvik 2013; De Pauw et al. 2014; IRTAD e OECD 2017) que defendem de uma maneira geral a eficácia notável desta medida. Com a nova limitação das velocidades a velocidade média de circulação diminui o número de mortos e feridos sofre uma descida drástica. Apesar dos resultados extremamente positivos, alguns dos estudos não possuem bases estatísticas fortes, pelo que devem ser abordados com cuidado.



Figura 11 - Exemplo da aplicação da redução do limite de velocidade em Wittenheim, França (New Mobility News)

No entanto, no caso do cálculo dos 16 CMFs presentes em três estudos (Islam e El-Basyouny 2015; Park, Park e Lomax 2010; Parker Jr e Parker 1997) tal já não se verifica. Os valores estão todos muito perto de 1, o que deixa muito a desejar. Neste caso a medida pode ser vista como indiferente ou até ineficaz.

Para a redução dos limites de velocidade, as classificações das diferentes ferramentas não coincidem. Tal pode dever-se ao facto dos casos analisados serem muito dispares ou o número de casos analisados pelo CMF não ser suficiente.

2.4.4 LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE

Vários autores (V. Kudryavtsev et al. 2012; Agerholm, Knudsen e Variyeswaran 2017; Jateikienė et al. 2016; Gitelman et al. 2017; Olszewski et al. 2016) defendem que esta medida de acalmia de tráfego reduz quer a velocidade, quer a frequência de acidentes, após a sua instalação. Assim, obtém-se a

classificação de eficaz no *SafetyCube*. Apesar da falta de dados estatísticos em alguns dos estudos, os restantes estudos colmatam esse aspeto, para que se possa afirmar a eficácia desta infraestrutura.

Ainda sobre esta medida, presente na Figura 12, a classificação CMF mostra-se dispersa apesar de ligeiramente positiva. Dois dos estudos (Zegeer et al. 2002; Oh et al. 2008) mostram resultados bastante positivos e bem abaixo da unidade. Outro autor (Elvik e Vaa 2004) mostra-se ligeiramente positivo por ter resultados perto da unidade, mas maioritariamente abaixo desse mesmo valor. Já outro estudo (Schepers et al. 2011) indica um valor do CMF de 1,28.



Figura 12 - Exemplo de uma lomba redutora de velocidade (Cellcode)

Apesar de existirem disparidades nos valores do CMF, pode-se considerar que há concordância entre as classificações. Esta medida é tida como eficaz por ambos *SafetyCube* e CMF.

Foi também realizada, para esta medida, uma análise custo-benefício, por parte do *SafetyCube* (Katrakazas e Quigley 2017), que tem em conta estudos realizados no passado. Os resultados foram bastante positivos chegando a atingir-se um Rácio Custo-Benefício (RCB) de 18,2, o que indica que os benefícios excedem consideravelmente os custos. Para além disso, os rácios analisados são todos positivos sendo o RCB mais baixo de 8,6 e o mais alto de 36,4.

2.5 SISTEMAS COM CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES AO SISTEMA PEH

Para melhor compreender o sistema PEH, tem de ser tido em conta as medidas de acalmia de tráfego que mais se assemelham ao novo sistema. É também necessário conhecer o que tem vindo a ser desenvolvido mais recentemente neste setor de medidas rodoviárias, para melhor enquadrar o sistema PEH.

Alguns dos sistemas que serão apresentados neste documento são comparáveis com o sistema PEH apenas em parte. Isto porque as lombas cinéticas PEH tentam abranger vários campos de atuação

recorrendo a várias áreas do saber da engenharia. Logo, há medidas que só se assemelham a uma determinada componente tecnológica do sistema PEH.

Estes sistemas serão divididos em dois grandes grupos: medidas tradicionais e medidas inovadoras. As tradicionais, que consistem nas lombas redutoras de velocidade (LRV), são as medidas mais comuns com que os condutores se deparam ao circular nas vias de comunicação. São também medidas já bastante testadas, com resultados em geral bem-sucedidos. As medidas inovadoras, onde se enquadra o PEH, são sistemas que ainda padecem de estudos e desenvolvimentos e/ou ainda não foram implementados a uma escala suficientemente abrangente, quer porque ainda se encontrarem numa fase de prototipagem, quer por ainda não terem penetrado no mercado comercial a grande escala.

2.5.1 MEDIDAS TRADICIONAIS – LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE (LRV)

2.5.1.1 Definição

As lombas redutoras de velocidade, que consistem numa secção elevada e transversal à faixa de rodagem, são uma das medidas de acalmia de tráfego mais extensivamente utilizadas por constituírem soluções eficazes e de baixo custo em termos de redução de velocidade. Esse desnível vertical tem como objetivo causar, no veículo e respetivo condutor, um impacto físico e visual, provocando assim uma diminuição na velocidade de circulação. O impacto físico, que resulta numa variação acentuada na aceleração vertical, é proporcional à velocidade a que se transpõe este obstáculo. Porém, este efeito não pode ser significativo para velocidades inferiores às velocidades de projeto e, nestes casos, não pode provocar qualquer dano nos veículos (ANSR e NFT 2007; Silva e Santos 2011; Silva 2010).

2.5.1.2 Tipologia e caracterização das LRV

As LRV podem assumir várias formas, tendo variações de comprimento, altura e perfil longitudinal, sendo que as diferentes variações (sinusoidal, circular, parabólica e trapezoidal) desta última característica se podem verificar na Figura 13 (Silva e Santos 2011). No que toca ao comprimento, a sua variação pode-se dividir em 2 categorias presentes na Figura 14: *speed hump* e *speed bump*. O primeiro, com origem inglesa, tem um comprimento variável entre 3 e 12 m e engloba alturas de 5 a 12 cm. Já o segundo tem um intervalo de comprimentos mais curtos que variam entre os 0,3 e 1 m e desníveis verticais que variam entre 5 e 15 cm (Weber 1998).

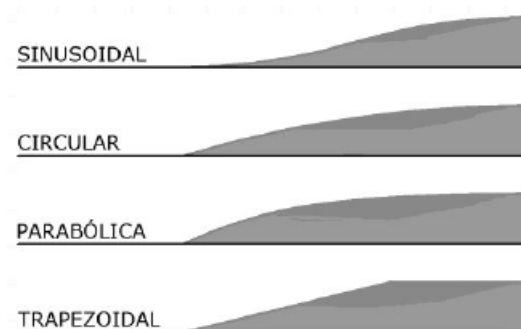


Figura 13 - Diferentes perfis longitudinais das LRV (Silva e Santos 2011; Ewing 1999)

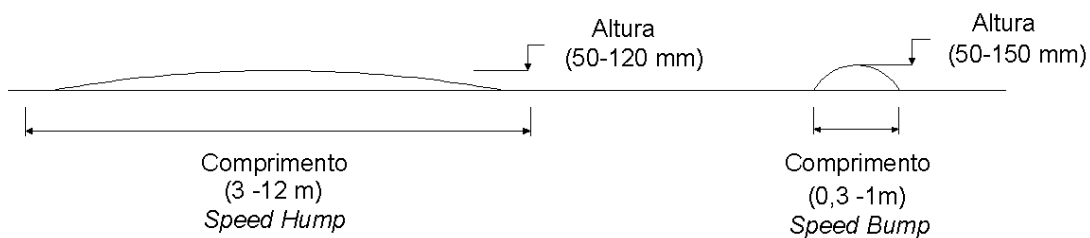


Figura 14 - Perfis típicos de *speed hump* e *speed bump* (Weber 1998)

Quando se analisa o mercado existente, é perceptível que a *speed bump* sinusoidal ou circular é das LRV mais utilizadas. Normalmente, estas lombas modulares são fabricadas em borracha vulcanizada e têm entre 3 a 5 cm de altura e 50 a 90 cm de comprimento, respetivamente (Figura 15). A de 3 cm de altura é utilizada em locais com velocidades de projeto de 35 km/h, enquanto que a de 5 cm é usada para velocidades máximas de 20 km/h. Ambas são facilmente afixadas ao pavimento, com parafusos aplicados nas buchas de plástico expansíveis, presentes nos furos da camada superior do pavimento (Duarte 2017). Por estas razões esta será a LRV usada nos testes descritos no capítulo 3.



Figura 15 - Lomba modular do tipo *speed bump*, da marca 3M (Sintimex)

Apesar do que foi dito anteriormente, segundo as normas nacionais, a altura do ponto de maior cota, em relação ao pavimento, não deve ser inferior a 25 mm nem exceder os 75 mm, salvo casos excecionais que devem ser devidamente justificados. Nesses casos a altura não deve ser superior a 100 mm (ANSR e NFT 2007).

Dentro das *speed humps*, existem dois perfis de uso habitual (ANSR e NFT 2007; Silva 2010): o perfil circular *Watts* (Watts 1973) e o trapezoidal *Seminole County* (Nicodemus 1991).

O perfil *Watts* pode ser visto como uma secção cilíndrica um comprimento de 3,7 m com altura compreendida entre 75 e 100 mm e está dimensionado para velocidades de projeto dentro do intervalo de 25 a 30 km/h. É frequentemente utilizado em Portugal (ANSR e NFT 2007). Este perfil pode ser visto na Figura 16.

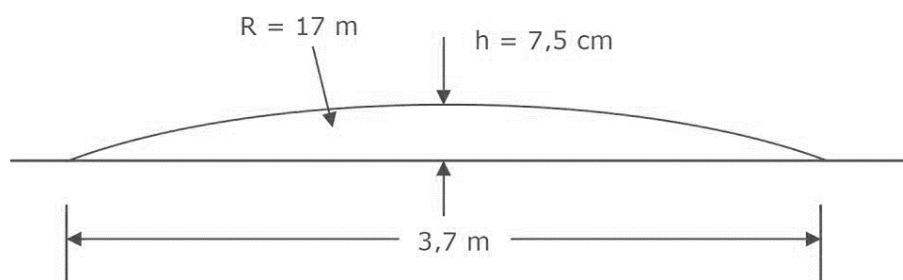


Figura 16 - Perfil da lombagem circular tipo Watts (ANSR e NFT 2007)

No que toca à LRV do tipo *Seminole*, trata-se de um perfil trapezoidal cuja parte plana (base menor do trapézio) tem um comprimento superior a 3 m. No total, o comprimento (base inferior) deste tipo de lombagem deve atingir pelo menos os 6,7 m. Assim, esta lombagem transforma-se no que é vulgarmente denominado de “plataforma elevada”, ou simplesmente “plataforma” (Figura 17) (Silva 2010).

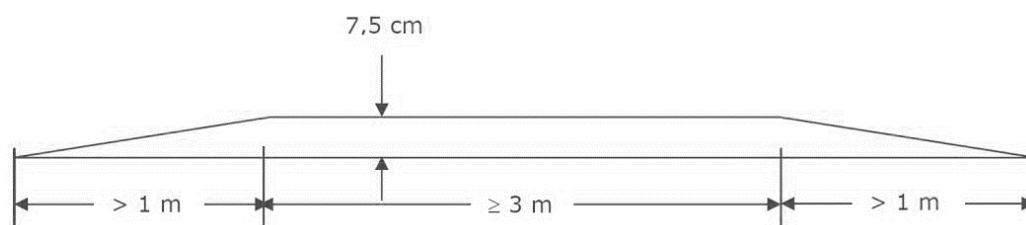


Figura 17 – Perfil de uma lombagem trapezoidal (ANSR e NFT 2007)

Normalmente, devido ao seu comprimento e à cota máxima se aproximar à do passeio, este tipo de lombagem é usado para a marcação de passagem de ciclistas e/ou peões. Deste modo, o espaço desta plataforma fica associada a um utilizador prioritário, ficando garantida a continuidade dos trajetos pedonais e forçando a adaptação do veículo às necessidades dos peões (Silva 2010). A implementação deste tipo de lombagem pode contribuir para a redução dos volumes de tráfego sendo que, muitas vezes, provoca a procura de circuitos alternativos. Estas LRV trapezoidais, destinadas à travessia de peões, têm também uma designação própria: “passagem pedonal elevada” (Figura 18) (Silva e Santos 2011).



Figura 18 - Passagem pedonal elevada em Vila do Conde (CM Vila do Conde)

O mesmo tipo de LRV pode ser utilizado em interseções resultando assim nas chamadas “interseções em plataforma” onde a área elevada engloba a totalidade da interseção, podendo também abranger a zona de aproximação das vias que convergem na interseção, como mostra o exemplo da Figura 19.



Figura 19 – Interseção em plataforma, na vista do condutor e em planta, em Esmoriz (Google Maps)

2.5.1.3 Inconvenientes, limitações e desvantagens das LRV

Apesar de trazer maioritariamente benefícios, o uso de lombas pode gerar inconvenientes a alguns grupos de utentes da via pública, que, como é obvio, não eram o alvo principal destas medidas de acalmia de tráfego. Os mais afetados são os ciclistas e veículos longos e/ou pesados, como é o exemplo dos veículos de emergência e transportes públicos (Bunte 2000). Para resolver esses problemas, uma das soluções seria alongar o comprimento das lombas, para comprimentos entre os 9 e 12 m (Alduán 1996). Existem também outras soluções, que não prejudicam os veículos longos: a lomba combinada e a lomba do tipo “almofada” (*speed cushion*), que são pouco comuns em Portugal. No que toca aos ciclistas, os procedimentos mais comuns passam ou pela interrupção da lomba numa faixa exclusiva, lateral ao passeio com largura compreendida entre 0,9 m a 1,2 m, ou recorre-se ao rebaixamento das extremidades das LRV (Silva 2010).

Para garantir a continuidade de uma utilização segura das LRV, é necessário saber a procura das vias onde estas são aplicadas, sendo que, de uma maneira geral, as lombas só são aplicadas a vias com níveis de serviço baixos. É, portanto, necessário conhecer o Tráfego Médio Diário Anual (TMDA). Portanto, para aplicar as LRV o TMDA da via deverá ser:

- Inferior a 3000 veículos (Alduán 1996; DDT 2000);
- Inferior a 4000 veículos, em zonas residenciais (DOWL 2001; SCDOT 2006);
- Inferior a 5000 veículos, em zonas centrais (DOWL 2001; SCDOT 2006);
- Inferior a 10000 veículos, em zonas de tráfego pedonal intenso (Alduán 1996).

Segundo as normas nacionais da ANSR (ANSR e NFT 2007) “não é admissível a instalação de uma LRV em local em que se verifique qualquer das seguintes condições:

- Quando a velocidade máxima permitida for superior a 50 km/h;
- Em trecho de via considerado estratégico pelo Serviço Nacional de Bombeiros e Proteção Civil, INEM (Instituto Nacional de Emergência Médica) ou Administração Regional de Saúde;
- Sem que a entidade gestora da via consulte previamente a entidade incumbida da fiscalização do código da estrada na via em questão, bem como eventuais operadores de serviços regulares de transporte coletivo de passageiros que utilizem a via;

- Dentro dos limites de uma passagem de nível ou a menos de 20 m de distância de qualquer ponto da mesma;
- Por baixo, ou a menos de 25 m de distância de qualquer ponto de uma estrutura existente sobre a via, que tenha qualquer elemento a uma altura inferior a 6 metros acima da superfície do pavimento da via;
- Em cima ou a uma distância inferior a 25 metros de qualquer elemento da estrutura:
 - De uma ponte ou viaduto que a via atravessa;
 - De um túnel que passe por baixo da via;
- Em vias sem passeios ou noutras situações em que seja possível ao condutor adotar uma trajetória que contorne a LRV;
- Em locais sem iluminação pública, constituída no mínimo por três candeeiros com espaçamento entre eles não superior a 40 m ou por dispositivo destinado especialmente à iluminação da LRV. Esta exigência não se aplica se a velocidade máxima permitida no local for de 30 km/h ou inferior;
- A uma distância inferior a 30 m ou superior a 150m de uma passagem de peões;
- A uma distância inferior a 10 m da linha imaginária que delimita a zona de intersecção de um cruzamento ou entroncamento na via em que se pretende instalar a LRV, para salvaguardar a estabilidade dos veículos de 2 rodas;
- Em trechos de via em que a inclinação é igual ou superior a 10%, de forma a evitar que a parte inferior dos veículos pesados colida com a superfície do pavimento da LRV.”

Já para outros países, as limitações podem variar. Por exemplo, o *Institute of Transportation Engineers* (ITE) (Ewing 1999) defende a aplicação de lombas nos seguintes casos:

- Inclinação máxima de 8 %;
- Perfil transversal só pode ter 2 vias;
- Em reta ou curva horizontal com raio máximo de 90 m;
- Numa curva vertical, apenas quando há uma distância de visibilidade de paragem segura;
- Percentagem da passagem de veículos longos não superior a 5 %;
- Aprovação da maioria da população da zona;
- A via não pode pertencer às rotas de emergência
- O desnível vertical não deve provocar incómodos aos transportes públicos.

As LRV têm também desvantagens já bem estudadas e documentadas:

- Condutores evitam a passagem sobre as LRV, adotando uma trajetória alternativa. Isto deve-se sobretudo a uma má instalação da lomba, em que esta não abrange toda a via (Pau 2002);
- Aumento do nível de ruído na zona circundante ao local de aplicação da LRV, devido à passagem de veículos sobre a mesma. As zonas residenciais são especialmente exigentes quando lhes é proposto a instalação de uma lomba perto delas. Por vezes chega mesmo a ser incompatível. Caso os veículos transpusessem este obstáculo a velocidades baixas, o ruído seria menor, mas é impossível prever o comportamento de cada condutor, ou até esperar que circulem a velocidades “amigáveis”. Há casos em que pode ser até positivo, sendo o melhor caso mostra a redução na ordem dos 2 dBA, onde foram utilizadas lombas circulares. O pior caso sucedeu-se quando se instalou uma lomba trapezoidal e houve um aumento de 6 dBA (Ewing 1999);
- Desconforto e possíveis lesões provocado excesso de vibração e aceleração vertical, sofridos pelo condutor e passageiros. Estes fenómenos têm um impacto negativo na saúde e qualidade de vida humanas. Porém tudo isto está dependente das seguintes variáveis: velocidade de circulação, posição dos ocupantes, tipo de veículo, frequência de passagens sobre LRV, método de avaliação do impacto e a mais condicionante de todas, a geometria da lomba (sendo a

propriedade mais importante a altura). Quanto maior for a altura da LRV, maiores são os danos causados à saúde dos ocupantes, sendo quem corre mais risco são os passageiros do banco de trás. Os ocupantes das viaturas sofrem sobretudo de riscos de lesões na zona lombar, sendo que este fator é especialmente grave quando se transportam pessoas já lesionadas no transporte de emergência (Khorshid, Alkalby e Kamal 2007);

- Danos provocados ao veículo, em particular na suspensão dos mesmos. Os veículos pesados, são os principais prejudicados neste campo, por terem uma suspensão mais consistente. Há estudos (SCDOT 2006) que desaconselham a instalação de LRV em locais onde o tráfego de pesados é superior a 5 %;
- Ansiedade e queixas de moradores que residem perto de LRV, devido às vibrações que as passagens de veículos provocam no solo (Watts e Krylov 2000; Ahmad et al. 2018);
- Desvalorização do valor das propriedades, no mercado imobiliário. Há casos relatados da baixa do preço de venda de habitações, devido ao facto de se situarem perto de uma LRV. Isto sucede-se mesmo antes da lomba ser instalada, desde que haja conhecimento que tal vai acontecer (Graham e Jones 2019). Apesar dos benefícios trazidos pela instalação de uma lomba, como a redução da velocidade de circulação e consequente segurança das crianças, os fatores negativos acabam por ser mais preponderantes. O barulho, danos nos veículos, congestionamento de tráfego, distúrbios na passagem de veículos de emergência e ciclistas acabam por ditar uma redução no preço de venda nos imóveis. Neste estudo a maior parte dos inquiridos afirmou preferir outra medida de acalmia de tráfego, como um estrangulamento da via, ou mudanças no trajeto da mesma que levassem a uma integração segura dos peões.

2.5.2 MEDIDAS INOVADORAS

Serão agora analisadas as medidas mais atuais que se encontram no mercado internacional, sendo que algumas ainda estão em fase de desenvolvimento. Para as classificar recorreu-se à escala TRL (*Technology Readiness Level*), que foi criada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) nos anos 90, para atribuir um nível de maturidade aos projetos em desenvolvimento. A classificação é uma escala que varia entre 1 e 9 sendo que TRL 1 representa apenas a existência de um conceito, com uma investigação superficial e TRL 9 representa um produto totalmente desenvolvido e testado e pronto para ser comercializado. Cada nível desta escala tem o seguinte significado (Candeias 2018):

- TRL 1: Investigação básica ou ideia em desenvolvimento;
- TRL 2: Investigação suportada por um conceito tecnológico e/ou ideia de aplicação;
- TRL 3: Investigação suportada por um mínimo de experimentação;
- TRL 4: Validação dos componentes da tecnologia em ambiente de laboratório;
- TRL 5: Validação dos componentes da tecnologia em ambiente relevante;
- TRL 6: Demonstração do protótipo em ambiente relevante;
- TRL 7: Demonstração do protótipo num ambiente operacional;
- TRL 8: Sistema real completo e qualificado em ambiente operacional através de testes e demonstrações;
- TRL 9: Sistema real finalizado e qualificado por meio de operações com êxito em missões.

Todas as medidas a apresentar situam-se entre os níveis TRL 6 e 8.

É também importante salientar que todas as soluções apresentadas estão devidamente patenteadas e que as mesmas são facilmente consultadas no website da *European Patent Office* (EPO).

Começando pelos sistemas que também proporcionam a recolha e armazenamento de energia (*energy harvesting*), que é uma das funções do sistema nacional PEH, existem 2 tipos de fontes de energia: luz solar ou a energia mecânica produzida pela passagem sobre o sistema.

Apesar de serem ambas fontes de energia, a pesquisa científica tem recaído principalmente sobre a segundo caso, devido ao seu maior potencial, pois estes adaptam-se às condições do pavimento, geram mais energia e fazem-no mais eficientemente. (Duarte 2017)

O tipo de tecnologia mais eficiente usado para captar energia solar são os painéis fotovoltaicos (PF), devido á sua maturidade e eficiência comprovada. No entanto, a implementação desta medida nas estradas, sobre a designação de pavimentos com painéis fotovoltaicos (PPF), tem-se revelado ineficaz, pois estas não garantem a aderência do veículo ao pavimento, que é uma condição básica de segurança. (Duarte 2017).

Já para captar a energia mecânica dos veículos, a tecnologia mais analisada pelos investigadores foi o uso de sistemas piezoelétricos (SPE). Contudo, esta acabou por ser posta de parte devido à baixa eficiência de conversão de energia. Por outro lado, tem havido um crescimento no uso de sistemas eletromecânicos (SEM) que, em conjunto com geradores eletromagnéticos, conseguem produzir energia elétrica. Estes, juntos com sistemas hidráulicos, demonstraram ser o sistema que mais energia produz, segundo os resultados experimentais. Para além disso, a sua instalação é também mais fácil do que os SPE, demonstrando assim uma maior probabilidade de sucesso na eficiência da conversão da energia mecânica dos veículos em energia elétrica (Duarte 2017).

São exemplos de PPF, as seguintes iniciativas:

- *Solar Roadways*, dos Estados Unidos da América (Solar Roadways);
- *Wattway*, da empresa francesa *Colas* (Wattway);
- *Solmove*, da Alemanha (Solmove);
- *SolaRoad*, da Holanda (SolaRoad).

Estes sistemas encontram-se todos no nível de desenvolvimento TRL 8 exceto o *Solmove* que está no nível abaixo. De uma maneira geral, como foi dito acima por Duarte (2017), estes sistemas não se mostram muito eficazes.



Figura 20 - Sistema PPF *Solar Roadways* no Texas, EUA (Solar Roadways)

A *Solar Roadways* não tem resultados muito favoráveis, pois a conversão de energia não é razoavelmente alta e deparou-se com condições adversas como a neve que a impediu de captar luz solar. Este problema foi resolvido, recorrendo ao aquecimento dos módulos (Figura 20), que recorre à energia

recolhida pelos mesmos, prejudicando assim a taxa de eficiência de conversão de energia. Apesar disto, já vão para o seu quarto modelo em que passarão a produzir o produto em série, pelo que novos avanços podem vir a ser alcançados. Este projeto tem um custo de produção de 730,5 \$/m² e para o aplicar no pavimento basta apenas retirar a camada superior do mesmo e os módulos hexagonais da *Solar Roadways* substituem essa superfície.

A *Wattway* também não é das mais eficazes na conversão de energia visto que os resultados nunca chegam a atingir as previsões de potência gerada. Apenas cumpriram metade das metas traçadas no que toca à geração de energia. No entanto, talvez pelo número elevado de parcerias, sendo o mais notório o INES (*Institut National de l'Énergie Solaire*), é das empresas de PPF mais mencionadas e atualmente ativa. Já conseguiu instalar uma via de 1 km (Figura 21) do seu produto num projeto piloto com o custo de 5 milhões de euros o que leva a estimativa do custo de 1800 €/m². Este valor é muito elevado face à concorrência no setor dos PF. No que toca à instalação basta fazer pequenos cortes no pavimento que correspondam às extremidades das placas da empresa *Colas*.



Figura 21 - 1 Km da solução PPF *Wattway* na Normandia, França (*Wattway*)

Sobre a empresa alemã *Solmove*, não há muita informação disponível no meio online acessível. Esta empresa diferencia-se das restantes do setor por fabricar duas variantes de PPF: *Volstreet* para os veículos, onde se preocuparam mais com a aderência ao pavimento (Figura 22) e *Solwalk* para os peões. No entanto, um dos projetos piloto da gama *Solwalk* incendiou-se no final de maio de 2019, devido a um suposto curto-circuito, o que indica que ainda há falhas a corrigir. Para aplicar este PF é apenas necessário colá-lo diretamente no pavimento com uma mistura de cimento específica para este fim. É, portanto, o PPF mais simples de instalar e também o mais barato de produzir, sendo que o custo ronda os 300 €/m². Apesar do preço ser convidativo, estima-se que quem invista neste tipo de pavimento veja o seu valor coberto em 14 anos. A empresa alemã defende também que, com os avanços tecnológicos o preço de custo desça 100 €, daqui a 25 anos.

Por último, a *Solaroad* que apesar de mostrar resultados positivos, é um sistema difícil de instalar sendo necessário constante manutenção e limpeza. Como tal, este sistema não se evidencia relativamente às restantes soluções de PPF. Esta solução desenvolvida para peões e veículos, consiste num PF instalado na superfície duma placa de betão, requer a abertura de uma vala, dificultando assim a instalação de cada módulo, como se pode ver na Figura 23. Para além disso, o facto do módulo partir facilmente, exige manutenção intensiva e acumular sujidade facilmente, impede a geração eficaz de energia, tal como refere Duarte (2017).



Figura 22 - Pormenor do Sistema *Solmove* da gama *Voltstreet* (Solmove)



Figura 23 - Pormenor da instalação do PPF *SolaRoad* na Holanda (SolaRoad)

Ainda dentro das soluções que incluem o *energy harvesting*, mas passando agora para os SEM, ambos de nível TRL 8 fazem parte desta designação os sistemas:

- *Lybra* da empresa italiana *Underground Power* (Underground Power);
- *Pavegen* da Inglaterra (Pavegen).

A *Lybra* é talvez o produto que mais se assemelha com o sistema PEH, por ter várias tecnologias em comum e princípios de funcionamento. Pode ser descrita, tal como o PEH, como uma lomba cinética modular que transforma a energia mecânica do carro em eletricidade, enquanto reduz a velocidade do veículo. No entanto as semelhanças acabam aqui, pois a passagem por este dispositivo é mais ruidosa do que nas próprias LRV, para além de não oferecer muito conforto. Talvez seja por isso que não há nenhuma aplicação perto de zonas residenciais. Para instalar a *Lybra* é necessário remover a camada superior do pavimento da via que é substituído pelo produto em si. Apesar dos inconvenientes referidos, o produto foi visto como eficaz. Contudo, aparentemente, o produto da empresa *Underground Power* deixou de ser divulgado em conferências em 2014, e noticiado em 2016.



Figura 24 – Sistema SEM Lybra em Itália (Underground Power)

A *Pavgen* é a empresa (inglesa) que mais mediatismo apresenta de todas as soluções semelhantes ao PEH, apesar desta se direcionar apenas aos peões. Conta com grandes parceiros e apoio de gigantes comerciais como a *Google* e a *Nike*. É constantemente noticiada pelos jornais internacionais mais conceituados, sendo referida como um exemplo a seguir no âmbito das *smart cities* ou no conceito de energia sustentável. O sistema recolhe a energia quando as pessoas caminham sobre o pavimento, sendo que os valores de energia que afirma produzir são bastante altos. Em março de 2018 o preço de custo rondava os 500 £/m², mas este tem, segundo a empresa, tendência a descer. É instalado através da abertura de uma pequena vala onde encaixa a estrutura que suportará os módulos triangulares (Figura 25)

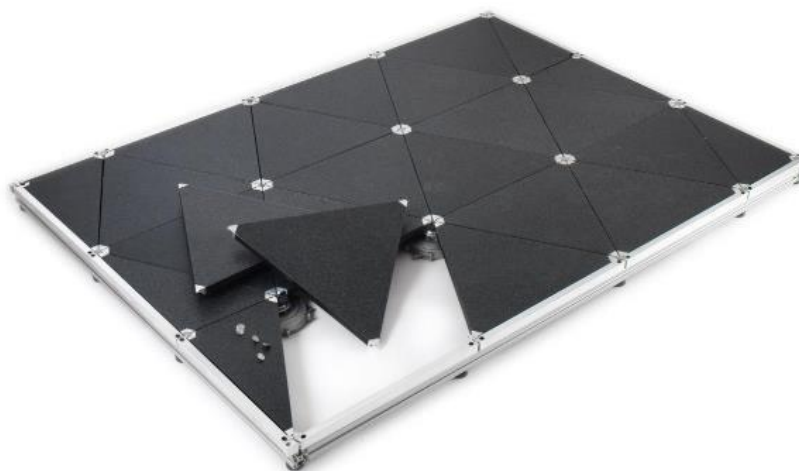


Figura 25 - Estrutura do sistema SEM da *Pavegen* (Pavegen)

Porém nem todos os SEM têm a funcionalidade de gerar e armazenar energia. Fazem parte desse grupo as seguintes soluções:

- *Actibump* da empresa sueca *Edeva* (Edeva);
- *Tope Inteligente* da empresa mexicana *Inteligencia Vial* (Inteligencia Vial);
- *Vivadén* da empresa espanhola *Movivo* (Movivo).

Todas estas medidas têm a mesma base, isto é, quem não respeitar os limites de velocidade irá ativar o respetivo SEM. Todas estas soluções têm o nível 7 TRL, exceto a *Vivadén* que está no nível abaixo.

A *Actibump* é uma lomba invertida que é ativada quando a velocidade de projeto é ultrapassada. Com um sensor que mede a velocidade capta a velocidade que o veículo está a circular e caso esta ultrapasse os limites ativa o dispositivo. Com as últimas aplicações a serem feitas na Austrália em 2018, este sistema reuniu opiniões mistas, sendo que nunca chegou a ser atingido um consenso em todas as localizações onde foi aplicado este SEM. Os moradores mostraram-se seguros e apreciam a medida de segurança, de uma maneira geral, aquando da instalação. Já os motociclistas têm opiniões distintas entre si, mas a maior parte considera a medida demasiado agressiva. De facto, o desnível de 6 cm num espaço tão curto parece algo demasiado elevado (Figura 26). É certo que tal só acontecerá caso a velocidade máxima seja ultrapassada, no entanto a segurança, o conforto e a integridade da suspensão dos veículos podem estar em causa. Para implementar a medida, é necessário instalar um radar ou um tapete que irá medir a velocidade uns metros antes do sistema em si. Este último requer a abertura de uma vala no pavimento onde irá ser afixado. Tem um custo de 50000 €/2 faixas.



Figura 26 - SEM Actibump ativo (Edeva)

A *Tope Inteligente* é uma *speed bump* trapezoidal que só é ativada quando a velocidade de projeto é ultrapassada. Dos SEM sem *energy harvesting* é o mais brando no que toca a impacto e ruído por não se tratar de uma lomba com um desnível exagerado. É também um produto bastante atrativo por disponibilizar várias funcionalidades e por ser interativo e de fácil interpretação. De facto, a empresa disponibiliza online uma análise estatística das passagens dos veículos no sistema sendo que o sistema é controlável, ou seja, caso seja necessário a lomba pode ser desativada (Figura 27).



Figura 27 - Sistema *Tope Inteligente* inativo e ativo (Inteligencia Vial)

A última aplicação deste sistema foi em agosto de 2018 e já passaram por este produto da *Inteligencia Vial* perto de 5000 veículos, fazendo com o que o seu TRL já possa ser considerado de nível 9. Para aplicar este SEM é necessário abrir uma vala no pavimento para lá o colocar e afixar, sendo que ao lado dele estará um semáforo interativo que irá relatar o estado da lomba (ativo ou inativo). Os sensores que medem a velocidade e que ditam o estado da mesma, são instalados 100 metros antes deste obstáculo. Este sistema tem o custo de 9300 €/2 vias.

A *Vivadén* é também uma *speed bump*, mas neste caso é circular, como é evidente na Figura 28. Segue o mesmo princípio de funcionamento das anteriores, sendo, portanto, uma lomba que é ativada apenas em caso de excesso de velocidade. O que a diferencia das restantes é ter um desnível de 7 cm. Visto ainda estar no sexto nível na escala TRL, ainda não foi testada em ambiente real, pelo que os resultados experimentais são desconhecidos. No entanto devido ao desnível elevado, é expectável que tal como a *Actibump* tenha consequências demasiado agressivas. Para a sua aplicação é necessária a escavação de uma vala que suporte o sistema e o sistema hidráulico lateral.



Figura 28 - SME Vivadén em testes em ambiente controlado na Espanha (Movivo)

Existe também outro tipo de soluções menos comuns: *speed bumps* cujos atributos físicos mudam a passagem dos veículos sobre os mesmos. São normalmente designadas de *Smart Bumps* (SB) e são exemplos os seguintes sistemas:

- *Flex-Drempel* da empresa holandesa TTS (*Total Technical Solutions*) (Total Technical Solutions);
- BIV (*Badén Inteligente de Velocidad*) da empresa espanhola Badennova (Badennova);

A *Flex-drempel* é uma SB sinusoidal que atua conforme o peso do veículo (Figura 29). Graças às suas propriedades, funciona como uma base praticamente plana para veículos pesados tais como autocarros e veículos de emergência, enquanto que para veículos ligeiros funciona como uma LRV normal. Apesar de ser vantajosa, e de já terem criado uma segunda versão desta SB em 2015 para melhorar o problema, esta lomba continua a produzir demasiado ruído quando os veículos passam sobre ela e tem sido criticada por isso mesmo.

A BIV é uma SB composta por um fluído não newtoniano que muda as suas propriedades conforme a força que é atingido. Foi fabricado para se deformar, ficando a BIV praticamente plana, quando a força com que é atingido corresponde a uma velocidade igual ou menor à velocidade de projeto, como mostra a Figura 30. A lomba ficará rígida quando for atingido por uma força que corresponda a uma velocidade excessiva. É aplicada como se tratasse de uma *speed bump* normal, ou seja, aparafusando o sistema ao pavimento. Apesar de aparentemente inovadora, a lomba só foi aplicada e testada em ambiente fechado e deixou de ser noticiada e referida em 2017, pelo que não é possível aferir os seus desenvolvimentos.



Figura 29 - SB Flex-Drempel da TTS na Holanda (Total Technical Solutions)

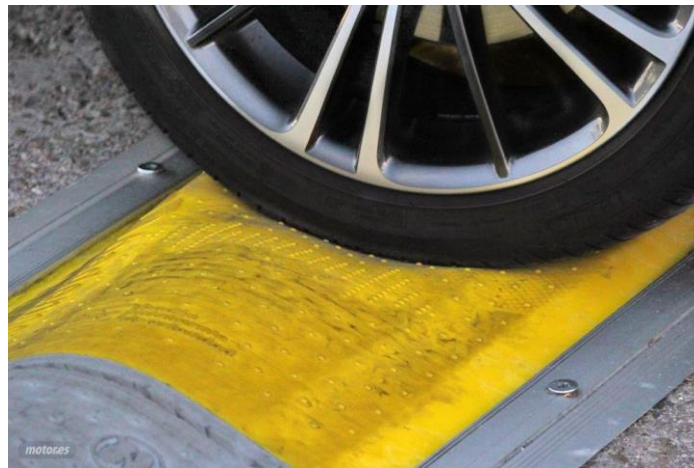


Figura 30 - Exemplo da BIV no estado não rijo, em Espanha (Badennova)

2.6 SISTEMA DE PAVEMENT ENERGY HARVESTING (PEH)

Depois de uma contextualização dos sistemas disponíveis para tornar a circulação na via pública num ato mais seguro, apresenta-se detalhadamente neste subcapítulo o sistema nacional, modular PEH.

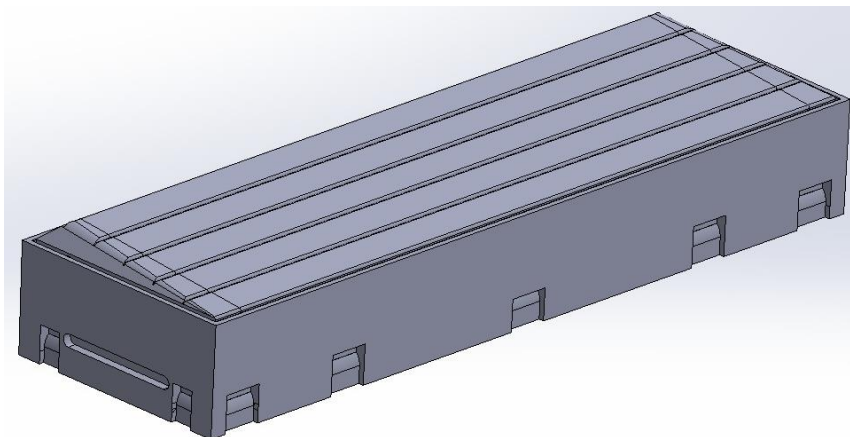


Figura 31 – Representação, no formato CAD, do sistema PEH

Como já foi evidenciado anteriormente, o PEH é constituído por módulos (Figura 31) que irão substituir um segmento superficial do pavimento da via de circulação. Estes módulos irão prolongar-se por uma extensão de 20 metros (Figura 32) para gradualmente diminuir a velocidade dos veículos através da absorção da energia mecânica.

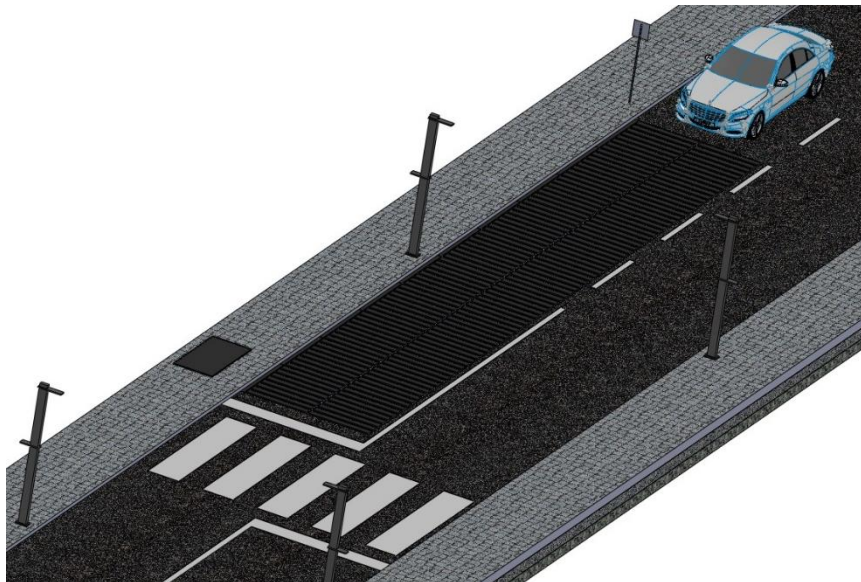


Figura 32 - Simulação 3D do produto final pretendido para o sistema PEH (Duarte 2017)

Nesta primeira fase, o PEH é apenas um sistema eletromecânico (SEM). Todavia, há pretensões de se incorporar um sistema hidráulico para que a geração e armazenamento de energia se torne ainda mais eficaz, por razões explicadas no subcapítulo 2.5.2 do documento (Duarte 2017).

O funcionamento do *energy harvesting* deste sistema pode ser resumido na seguinte sequência (mais perceptível através da visualização dos componentes interiores, presentes da Figura 33):

- Passagem do veículo faz com que a tampa (ligeiramente inclinada) se mova na direção vertical;
- As bielas, acopladas à tampa e ao patim, transferem o movimento vertical da tampa para um movimento horizontal do patim;
- A cremalheira acoplada ao patim faz mover um conjunto de rodas dentadas;
- As rodas dentadas, cuja função é amplificar a velocidade angular, acionam o gerador elétrico, que transforma a energia mecânica em energia elétrica.

Figura indisponível devido a confidencialidade requerida pela empresa Pavnext.
Para mais informações contactar fd.pavnext@gmail.com

Figura 33 - Interior do sistema PEH, no formato CAD

Para que não haja desvios na translação vertical, foram instalados guias verticais e para que a tampa possa regressar à posição inicial recorreu-se a um conjunto de molas.

Para instalar este sistema no pavimento é necessária uma caixa de betão (Figura 34) que o suporte, de modo a que o sistema modular PEH não esteja em contacto direto com o solo, a facilitar a drenagem do mesmo e a posicionar corretamente os módulos. Para o sistema drenante ficar completo é necessário ligá-lo às tubagens existentes para poder escoar a água.



Figura 34 - Instalação da caixa de betão que irá suportar o sistema PEH, em Matosinhos

Durante a realização da dissertação, o sistema apresentava 4 módulos distintos em função do comprimento (1 e 1,4 m) e da capacidade de gerar ou não energia elétrica. Isto quer dizer que existem duas variantes que não são representadas pela Figura 33, pois não realizam os dois últimos passos da sequência anteriormente apresentada. Isto porque não têm geradores, rodas dentadas e cremalheira acoplada ao patim.

Um módulo de cada uma destas 4 versões, foram utilizados na realização experimental, explícita no capítulo 3, pois era impossível, nesta fase inicial, produzir protótipos suficientes que atingissem a extensão de 20 m. Entre elas existe um espaço, denominado de corredor central, que será devidamente vedado, para passarem os cabos necessários para a geração de energia e recolha de dados, como é visível na Figura 35, onde o sistema já está totalmente instalado. Este corredor é também o local designado para a passagem de motociclos sobre o sistema modular.

É, assim, possível absorver a energia mecânica dos veículos, quando passam sobre o PEH, o que resulta na perda de velocidade dos mesmo. Isto é feito sem qualquer intervenção do condutor, sendo que ocorre um abrandamento automático.

Também faz parte do projeto, a instalação de um armário no passeio paralelo ao sistema PEH, onde irão permanecer as baterias que irão armazenar a energia que não for usada na iluminação do sistema.

Através de sensores e outros componentes eletrónicos, instalados no interior do corredor central, será possível recolher dados de tráfego (*traffic logging*) e monitorizar o sistema à distância.



Figura 35 - Protótipo do sistema PEH totalmente instalado, em Matosinhos

Serão recolhidos dados como:

- Tráfego diário através da contagem de descidas da tampa;
- Peso dos veículos, através da medição da descida da tampa;
- Velocidade dos veículos, comparando o tempo de descida entre tampas;
- Avisos de congestionamento caso muitas tampas estejam a ser pressionadas.

A própria recolha de dados pode também indicar a presença de defeitos no equipamento, sendo que a substituição é facilmente realizada visto ser um sistema modular. Esta é uma medida redundante ao sistema de monitorização.

Por fim, este sistema tem como objetivo superar as LRV no que toca ao ruído e impacto causados quando o veículo passa sobre elas. Tenta fazê-lo através das molas que absorvem o impacto, para além do uso de materiais como a cortiça nas partes em que o equipamento assenta na caixa de betão.

Como foi referido anteriormente, na nova versão as assimetrias são eliminadas, passando os dois lados a ter módulos de 1,2 m e o corredor central a localizar-se no meio da caixa de betão. Isto facilita processos de fabrico e contratempos encontrados nos módulos por terem comprimentos diferentes.

2.7 SÍNTESE CONCLUSIVA

Com as necessidades de ter um ambiente rodoviário cada vez mais seguro, as medidas de acalmia de tráfego surgiram para reduzir a velocidade de circulação e diminuir a consequência mais nefasta dos mesmos, os acidentes.

No entanto, os cenários nacional e europeu mostram que, apesar da frequência dos acidentes ter vindo a diminuir de uma maneira geral, a gravidade dos mesmos está a aumentar, resultando mesmo em mais mortes causadas por acidentes rodoviários.

A velocidade é uma das causas dos acidentes, nomeadamente da gravidade dos mesmos, sendo por isso o foco de medidas de acalmia de tráfego. Com a ajuda de plataformas europeias como a *SafetyCube DSS* e/ou a americana *CMF Clearinghouse* é possível entender qual a eficácia das medidas tradicionais existentes.

Outras medidas de acalmia de tráfego existentes, conhecidas e inovadoras, que se assemelham de alguma forma ao sistema PEH, foram analisadas para perceber as vantagens e desvantagens de cada uma, sendo que ficou claro que a maior parte dessas medidas ainda necessitam de mais desenvolvimentos e melhorias, tal como mostra a classificação LRV de cada uma. A *Lybra* é a medida inovadora que mais se aproxima da solução nacional. Para além disso, pela análise efetuada, a *Tope Inteligente* é uma medida promissora por ser *user friendly* e pela quantidade de características e propriedades úteis que apresenta.

Para finalizar é apresentado o sistema PEH ao pormenor, demonstrando o alcance que este pretende ter e os aspetos que pretende melhorar na segurança rodoviária. Em particular, o sistema PEH pretende seguir os exemplos dos SEM que, em conjunto com sistemas hidráulicos, são as medidas de geração e armazenamento de energia mais eficazes do momento.

3

METODOLOGIA DO ESTUDO E AQUISIÇÃO DE DADOS

3.1 INTRODUÇÃO

Para perceber o potencial impacto do sistema PEH na segurança rodoviária, é importante perceber as medidas de acalmia de tráfego que atuam no mesmo problema e se há, se quer, a necessidade de inovar e implementar algo de novo na via pública, de maneira a aumentar a segurança de todos os seus usuários.

No capítulo anterior, especialmente no subcapítulo 2.4, apesar de não ser consensual, tentou-se classificar algumas das medidas de acalmia de tráfego existentes. Sendo que a medida que mais se assemelha ao sistema PEH, as LRV, teve uma classificação maioritariamente positiva, ainda há algumas discordâncias que têm de ser analisadas. Apesar de tudo, o *SafetyCube* demonstra que o RCB das LRV é inquestionavelmente positivo (Katrakazas e Quigley 2017). Portanto, o seu baixo custo e relativa eficácia, fazem com que sejam uma das medidas de segurança mais usadas mundialmente (Bastos Silva e Seco 2006).

Já no subcapítulo 2.5, foram tidas em conta todas as medidas que de alguma maneira se relacionam com o sistema modular nacional PEH. Aquando da análise das medidas inovadoras, em 2.5.2, apenas a *Lybra* se assemelha ao sistema PEH. Todavia, nenhuma das medidas inovadoras mostra avanços suficientes no campo da segurança rodoviária, que mostrem um potencial de aplicação global, ou até mesmo em Portugal.

Nesse sentido, o mais lógico será comparar o sistema PEH com as medidas já existentes, ou seja, as LRV. Os aspetos a melhorar destas últimas foram expostos no subcapítulo 2.5.1 e o novo sistema propõe-se, teoricamente, a colmatar algumas dessas falhas.

Porém, a influência da opinião pública é muito importante no que toca na tomada de decisão dos responsáveis pela via pública. Neste caso a implementação de uma nova tecnologia, que é desconhecida pela generalidade da população, pode e deve ser alvo de apreciação. Há, inclusive estudos (Ewing 1999; Gifford 2004) que defendem o debate junto dos moradores e os restantes afetados, de novas implementações, no campo da segurança rodoviária. Portanto, torna-se fulcral perceber se as necessidades dos utentes da via pública estão a ser cumpridas. Então, para conhecer a opinião pública, foi realizado um inquérito que pretende perceber o que os utentes pensam sobre o estado atual da segurança rodoviária, bem como avaliar a predisposição da adoção do novo sistema PEH.

Para além do inquérito, serão realizados ensaios experimentais para comparar as LRV e o sistema PEH. Visto que algumas das tecnologias são exclusivas do sistema PEH, esta comparação deve ser feita apenas nos aspetos em comum. Portanto, tendo apenas em consideração o sistema mecânico do sistema PEH e as LRV, foram realizados dois ensaios: um de ruído e outro de impacto. Os ensaios de impacto consistem na medição das acelerações vertical e horizontal sofridas aquando da passagem sobre a LRV ou o

sistema PEH e o de ruído trata-se da medição do nível de ruído produzido pelos veículos quando passam sobre os mesmos obstáculos

3.2 INQUÉRITO SOBRE O ESTADO ATUAL DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA E O NOVO SISTEMA PEH

Antes do inquérito chegar à sua versão final, tal como está presente no Anexo A, foi realizada uma versão de teste para a qual participaram amigos, familiares, colegas e conhecidos. Depois da recolha de uma opinião generalizada e alguns conselhos, pequenas alterações foram feitas. Este passo foi essencial para entender como abordar e entender as dificuldades da população que não está em contacto com os conceitos e/ou a linguagem corrente da área de segurança rodoviária e de análise de tráfego.

Depois destas mudanças, uma segunda iteração surgiu, que por sua vez foi avaliada já por profissionais da área de vias de comunicação. Após isso, foi consultada uma profissional na área da psicologia relacionada com a condução, que levou a novas mudanças.

De referir que o inquérito pretende abranger diferentes tipos de utentes viários ou seja, condutores e peões. Por esse facto, considerou-se a idade mínima do inquirido de 15 anos.

Visto no capítulo 2 se ter demonstrado a crescente gravidade dos acidentes e a particularidade de tal ter vindo a afetar os peões (ANSR 2019), grande parte das questões de segurança rodoviária centram-se nesse assunto. São, então, feitas questões relacionadas com atropelamentos e os locais onde os peões, supostamente atravessam a estrada, as passadeiras. Foi também dada especial ênfase às LRV devido a serem a medida de acalmia de tráfego escolhida para comparar com o sistema PEH.

Na versão final, o inquérito, feito na plataforma *Google Forms* acabou ser estruturado da seguinte forma:

- Perspetiva dos condutores, no que toca ao estado atual da segurança rodoviária (caso tenham carta de condução);
- Perspetiva dos peões, no que toca ao estado atual da segurança rodoviária;
- Perspetiva dos moradores, no que toca aos distúrbios causados pelas LRV (caso aconteça);
- Predisposição para o novo sistema PEH e as suas tecnologias.

Como é compreensível, nem todos os inquiridos podem ser condutores ou morar perto de uma LRV por isso quando tal não se verifica, passam diretamente à próxima secção.

Antes de começar o inquérito propriamente dito, foram recolhidos dados gerais sobre os inquiridos, para ser perceptível a tendência, caso exista, de determinados grupos sociodemográficos a responder ao questionário. Aqui são recolhidas informações como: sexo, idade, situação profissional e habilitações escolares. É de notar que, no início de todas as secções do questionário, excetuando a última, os inquiridos são sempre alvo de questões que os caracterizam enquanto utentes da estrada.

A primeira secção, que só é preenchida por condutores, começa por os categorizar em: anos de carta de condução, tipo de veículo que conduz com mais regularidade e as frequências diurna e noturna com que conduzem. De seguida é questionada a segurança das passadeiras e é pedido aos inquiridos que classifiquem uma série de medidas de prevenção rodoviária, onde está incluída a LRV, sendo que o conforto de passagem sobre as mesmas é abordado na questão seguinte. Posteriormente é requerido que classifiquem sugestões de melhoria das passagens pedonais. A questão final recai sobre a atribuição da culpa da insegurança das passadeiras

Na segunda secção, começa-se por perceber se o inquirido tem alguma espécie de mobilidade, não temporária e em que período do dia é mais frequente caminhar. Logo depois, diferentes questões sobre as passadeiras são colocadas: frequência de uso e o quão seguros se sentem ao fazê-lo, o cuidado com

que os condutores as abordam e se já foi alvo e/ou assistiu a algum acidente e/ou atropelamento. De seguida é requerido que classifiquem sugestões de melhoria das passadeiras. E mais uma vez, a questão final recai sobre a atribuição da culpa da insegurança das passadeiras.

É de atentar o facto de as secções 1 e 2 acabarem da mesma maneira. Isto foi feito propositadamente, para perceber se os inquiridos responderiam de maneira diferente, por estarem a interpretar o papel de condutor e de peão.

Já na terceira secção, onde apenas respondem os moradores afetados por distúrbios causados pela passagem dos veículos sobre as LRV, tentou-se filtrá-los por zona residencial (urbana ou residencial) e por tipo de residência (unifamiliar ou coletiva e em que andar). Nesta secção, os inquiridos são questionados sobre o ruído das LRV: quão perturbador é, com que frequência o escutam e se têm de tomar medidas para se sentirem confortáveis de novo.

Por fim, a quarta secção começa com um vídeo explicativo do sistema PEH e o seu funcionamento. De seguida, é pedido ao inquirido que avalie as medidas apresentadas no subcapítulo 2.6, que o sistema PEH pretende incluir no seu equipamento. O inquérito acaba com a questão sobre a substituição das LRV pelo sistema PEH, para assim ser obtida uma comparação direta entre as duas medidas de acalmia de tráfego.

Na realização do inquérito, optou-se por duas abordagens: online e entrevista cara-a-cara. A maior parte dos inquéritos foram feitos pessoalmente sendo que dos 280 realizados, apenas 77 foram preenchidos online, o que representa apenas 27,5 % dos inquiridos. Visto que normalmente, a via online é a via por onde se obtém mais respostas, a amostra acabou por ser menor do que o esperado.

De facto, há fórmulas que permitem estimar o número exato da amostra que deveria ser atingida. Visto estarmos a analisar os condutores, peões e moradores, devemos considerar o caso que tem a amostra maior, sendo óbvio que o grupo que engloba uma amostra mais extensa é o dos peões. Assim, com base nos dados de 2018 da população residente em Portugal com mais de 15 anos (Pordata) e cujo valor é de 8868092 indivíduos, aplicou-se a seguinte equação (Cochran 1977):

$$n = \frac{\sigma^2 \times p \times (100 - p) \times N}{e^2 \times (N - 1) + \sigma^2 \times p \times (100 - p)} \quad (1)$$

em que n é o número da amostra, N é a população em estudo, σ é o desvio padrão (distribuição normal) correspondente a uma probabilidade de confiança, e é a margem de erro e p percentagem da amostra.

Aplicando a equação (1) e considerando os seguintes valores $N = 8868092$, $\sigma = 1,96$ (para uma probabilidade de confiança de 95%), $e = 5\%$ e $p = 70\%$ (considerando que 70% da população está de alguma forma relacionado com o atravessamento e as medidas em estudo; quanto mais alto este valor menor o valor de n), obteve-se o valor de 323 inquiridos.

Como se pode verificar, a amostra obtida e relativa ao grupo de peões ficou perto do que era suposto atingir, com uma diferença de 15 %. Contudo, este cálculo não teve em consideração e distribuição da população por grupos etários, género etc. Pode-se, portanto, considerar que a amostra não é representativa da população que se pretendia analisar. No entanto, na impossibilidade de se obter mais respostas no período de tempo disponível, esta foi a amostra usada neste estudo.

No que toca à quantidade de inquiridos por localização, das entrevistas cara-a-cara a maior parte situaram-se no distrito do Porto: 31 inquéritos na Boavista, 29 em Matosinhos, 27 na Baixa do Porto, 42

na avenida Santa Catarina e 34 no cais de Gaia. Já em Lisboa foram efetuados 40 inquéritos, na zona do Saldanha.

Depois da realização do inquérito, para validar estatisticamente os resultados e as diferenças encontradas entre grupos, foi realizada a análise ANOVA (*analysis of variance*) no software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

3.3 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

3.3.1 TESTES DE RUÍDO

Para comparar o ruído emitido entre as passagens de veículos nas LRV e no sistema PEH, é necessário usar uma metodologia validada. Para isso, foram consultados vários estudos, sendo que o mais semelhante a este caso é o estudo (Behzad, Hodaie e Alimohammadi 2007) que mede o ruído da passagem de veículos sobre LRV de diferentes alturas, baseando-se na ISO 7188 (ISO 1994). Na atualidade, essa norma ISO (*International Organization for Standardization*) já não está em vigor. Foi sofrendo várias atualizações (Figura 36), sendo que a norma corrente é a ISO 362-1:2015 (ISO 2015).

Revisions / Corrigenda



Figura 36 - Evolução das normas ISO, para medição do ruído dos veículos (ISO 2015)

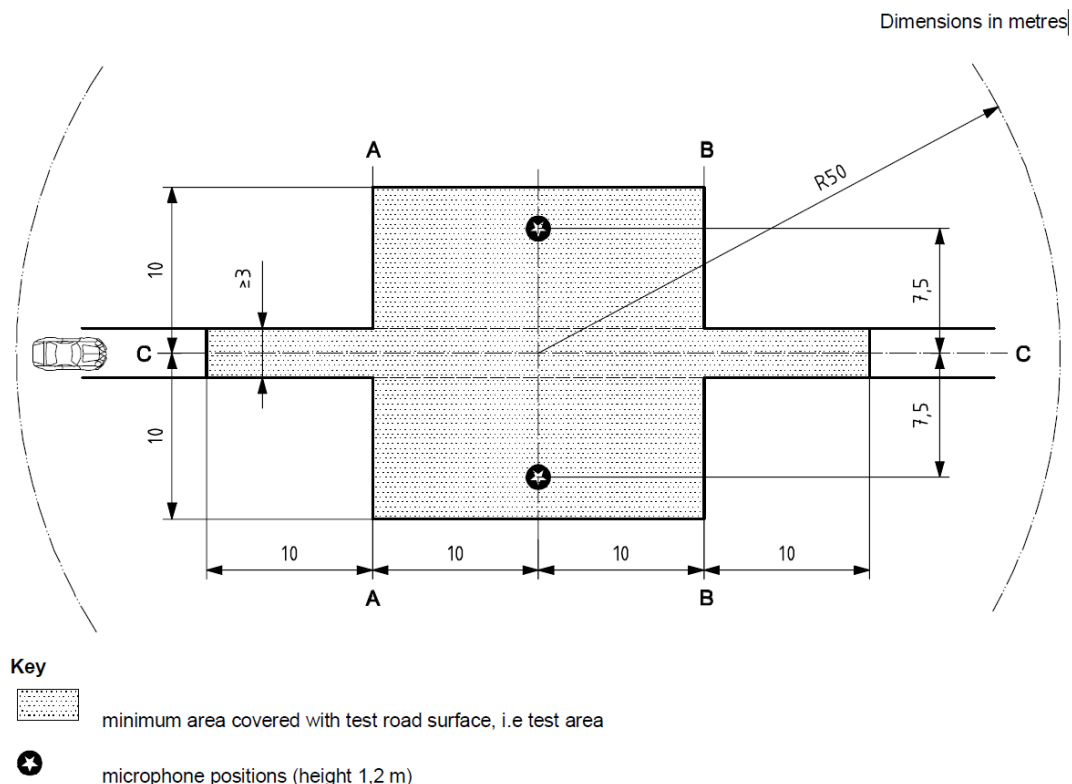


Figura 37 - Distâncias a respeitar, no local de ensaios de medição do ruído (ISO 2015)

No entanto, esta norma divide-se em duas partes, a 362-1 e a 362-2, que se distinguem pelo tipo de veículos que são analisados. A 362-1 foi escolhida por se focar nas categorias M e N, ou seja, veículos com pelo menos quatro rodas, de transporte de passageiros (categoria M), ou mercadorias (categoria N). Os veículos que irão ser utilizados são ambos de categoria M.

Segundo esta norma ISO, o esquema de medição do ruído deve respeitar as distâncias representadas na Figura 37. Todas estas distâncias foram respeitadas, exceto o raio de 50 metros, sem qualquer obstáculo. Isto porque este teste foi realizado nas instalações da Câmara Municipal de Matosinhos (CMM), local onde não existia nenhuma área disponível com essas características.

Para além das dimensões a respeitar, a norma ISO também exige toda uma série de parâmetros, sendo que alguns deles não foram cumpridos. Entre esses, destacam-se os seguintes: uso de instrumentação para verificar as condições meteorológicas ideais, a superfície deveria ser o mais lisa possível, ou seja, pavimentada, o local deve ser silencioso e apropriado para uma experiência de ruído. Apesar de não serem medidas as condições meteorológicas, estas foram consideradas apropriadas pelo profissional da área de engenharia acústica, que realizou as medições. A superfície das instalações, no entanto, estava longe de ser ideal para a experiência. Isto porque era constituída por paralelos que provocam bastante ruído só pela circulação dos veículos sobre os mesmos. O local em si também não reunia as condições ideais, devido à ocorrência de trabalhos de construção aquando da realização dos ensaios, às simples conversas dos funcionários da CMM e também devido ao facto das instalações se situarem na rota dos aviões do aeroporto Francisco Sá Carneiro. Estes inconvenientes fizeram com que alguns ensaios tivessem de ser repetidos.

Para medir o nível ruído utilizou-se o sonómetro B & K (*Brüel & Kjær*), modelo 2260 (Figura 38), cuja verificação do IPQ (instituto Português da Qualidade) estava em dia. Este aparelho, como mandam as regras da norma ISO, foi colocado a 1,2 m do chão e a 7,5 m do centro da medida de acalmia de tráfego.



Figura 38 - Sonómetro B&K 2260, usado nos ensaios experimentais das instalações da CMM

De todos os valores captados em cada ensaio, vão apenas ser tidos em conta o LA_{eq} e o $LA_{máx}$. Estes correspondem aos níveis de pressão sonora, ponderados A, equivalente e máximo, respetivamente.

Segundo a APA (Agência Portuguesa do Ambiente), esta ponderação A, que também é conhecida como filtro A, foi criada pois o nível de pressão sonora, expresso em decibel (dB), não representa de maneira fidedigna a audição humana. Isto deve-se ao facto do ouvido humano ser relativamente insensível aos ultrassons (frequências muito altas, acima dos 20 000 Hertz) e aos infrassons (frequências muito baixas, abaixo dos 20 Hertz) (APA 2004).

É, portanto, necessária uma ponderação baseada num coeficiente dependente da frequência, de maneira a ter em conta as variações da sensibilidade da audição humana. Logo, a ponderação A penaliza as componentes graves e agudas do som emitido relativamente às médias, tal como outras ponderações (Figura 39). No entanto o filtro A é o mais usado para situações correntes.

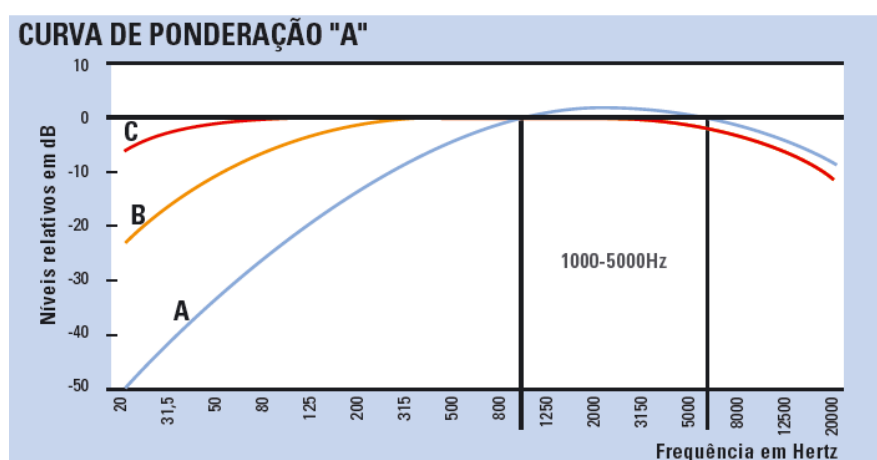


Figura 39 - Diferentes curvas de ponderação dos níveis de pressão sonora (APA 2004)

Os valores LA_{eq} e o $LA_{máx}$, captados pelo sonómetro, correspondem ao valor médio da medição e ao valor máximo, respetivamente, como demonstra a Figura 40.

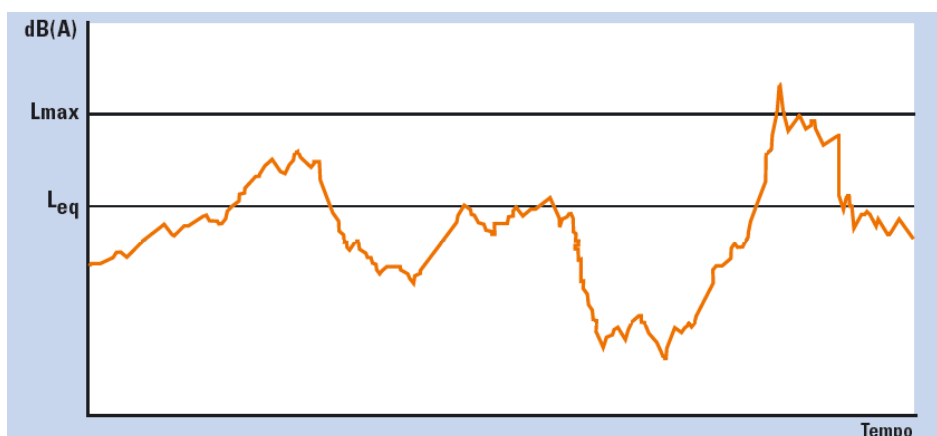


Figura 40 - Gráfico exemplo dos valores LA_{eq} e o $LA_{máx}$ (APA 2004)

Estes dois valores de níveis de ruído foram registados ao longo dos ensaios que variaram consoante o tipo de veículo, tipo de desnivelamento vertical e a velocidade a que o veículo passa sobre o dito obstáculo.

Os dois veículos utilizados foram um *Nissan Leaf* (Figura 41) e um *Volvo V70*, cujas especificações se encontram nos Anexos B1 e B2, respetivamente. Estes foram os veículos escolhidos por terem características completamente diferentes. Fatores como a diferença de peso e aceleração foram tidos em conta na escolha, mas o que mais influenciou foi o a fonte de energia dos motores. O *Nissan* é um veículo elétrico o que em termos de ruído é ideal para os ensaios. No entanto, também era necessário um veículo de utilização mais comum, sendo que a escolha recaiu sobre um veículo movido a diesel, como o *Volvo*.



Figura 41 - Ensaio de Medição do nível de ruído, com O *Nissan Leaf*, a passar sobre a LRV de 3 cm

Os desnivelamentos verticais usados, para comparar com o sistema PEH foram duas *speed bumps* da 3M com alturas de 3 e 5 cm (Figura 42). Estas foram as lombas escolhidas por se tratarem de umas das LRV mais comuns e de instalação fácil rápida. Apesar de a lomba de 3 cm não ser usada correntemente nas vias portuguesas, foi aplicada na mesma para haver um termo de comparação.



Figura 42 - Três desnivelamentos verticais usados nos ensaios experimentais: LRV de 3 cm, sistema PEH e LRV de 5cm (da esquerda para a direita)

No que toca às velocidades com que os veículos passaram sobre os desníveis verticais, estas foram escolhidas tendo por base a velocidade de projeto das lombas que, normalmente se situa entre os 20 e 35 km/h. No entanto, para ter em conta outros fatores como a distração do condutor ou o simples desrespeito pelas regras do código da estrada, achou-se por bem impor um limite máximo nos ensaios de 60 km/h. Por isso, tendo em conta estes dois argumentos, nestes ensaios foram feitas medições do nível de ruído, praticando velocidades constantes entre os 20 e os 60 km/h, com intervalos de 10 km/h.

Neste ensaio, houve também um imprevisto aquando da medição dos níveis de ruído do sistema PEH. Visto que a primeira tentativa de medição, ocorreu com fontes de ruído indesejáveis, no caso a conversação entre funcionários da CMM e carrinhas paralelas ao percurso (demonstrado na Figura 37) que são superfícies refletoras do som indesejáveis ao ensaio, o técnico encarregue das medições, aconselhou a repetição das mesmas. Houve também uma variação, nas medições do mesmo desnível. Visto o sistema PEH ser modular e ser constituído por 4 módulos diferentes e para testar um novo cenário, foram retirados os módulos traseiros (pareciam ser a origem da fonte principal de ruído no ensaio anterior), que foram substituídos por *dummies*.

Este ensaio tinha a duração limitada de uma tarde e, portanto, não foram realizadas várias repetições das medições, para cada velocidade, por falta de tempo.

3.3.2 TESTES DE IMPACTO

Os testes de impacto foram efetuados para ser conhecido o conforto da passagem sobre os desníveis verticais, através da medição das acelerações verticais. Também foram medidas as acelerações longitudinais para melhor entender as reduções de velocidade que cada obstáculo proporciona.

Para realizar essas medições, foi necessário um veículo instrumentado e respetivo software de configuração e análise. O veículo, cedido pela Universidade de Coimbra (UC), foi uma carrinha *Renault Clio* (Anexo B3), cuja instrumentação necessária para estes ensaios era amovível, como se nota na Figura 43 (apenas a fita de velcro prende o aparelho ao veículo).



Figura 43 - DL1 (Data Logger) da Race Technology, colocado no centro do veículo

Devido a esse mesmo facto, o DL1 foi colocado nos outros dois veículos, já usados nos ensaios experimentais de ruído (*Nissan Leaf* e *Volvo V70*).

Antes de começar qualquer medição, é necessária uma configuração básica no software da *Race Technology* (Figura 44), que é o mesmo responsável pelo fabrico do aparelho, presente na Figura 43. Podem ser configuradas inúmeras variáveis e possíveis compensações das mesmas, consoante a situação experimental.

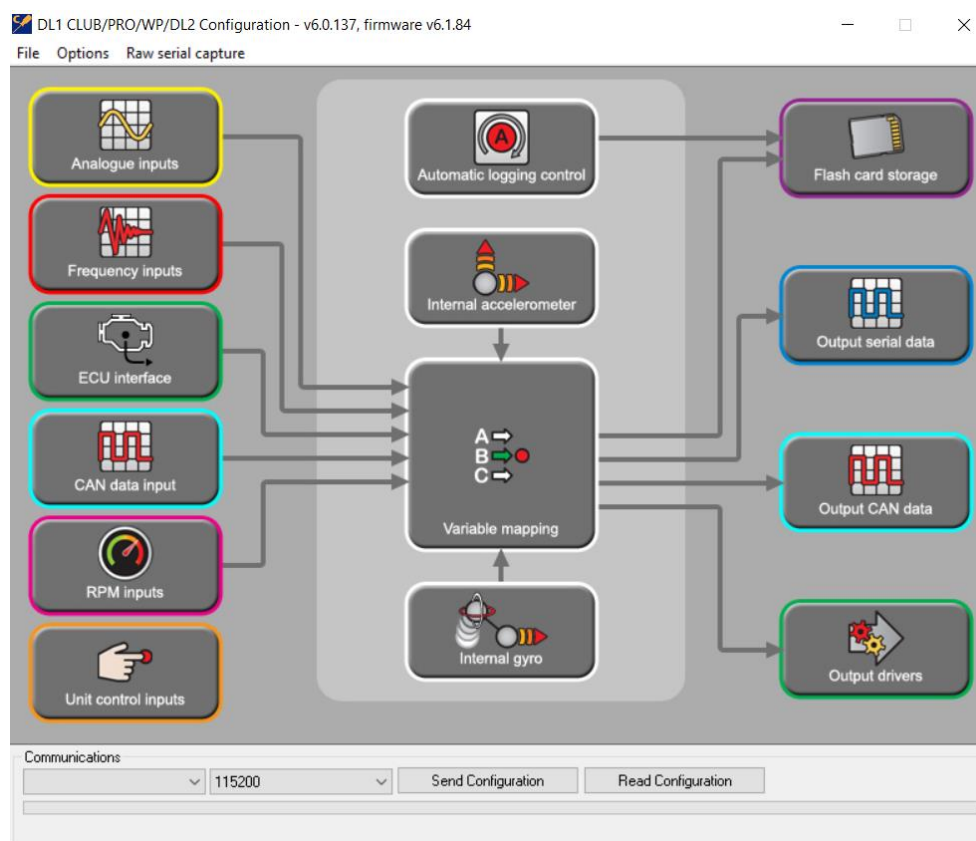


Figura 44 - Software de Configuração do DL1, da *Race Technology*

Todavia, visto que, o objetivo do ensaio é apenas captar as duas acelerações já referidas, poucas alterações importantes foram efetuadas. Inclusive, foram retiradas muitas variáveis desnecessárias a este tipo de teste. Portanto, para este teste recolheram-se os seguintes dados: acelerações vertical e longitudinal, velocidade e localização. Estas duas últimas, eram medidas através de um dispositivo GPS, que estava acoplado no tejadilho do carro, através de um íman. O GPS conectava-se ao DL1, por cabo ao. O DL1 recolhe todos estes dados e grava-os num cartão de memória.

Antes começar a recolher os dados descritos, é necessário de confirmar que o cartão memória está pronto a gravar e que é possível obter o sinal GPS. Isto é confirmado quando a luz verde dos LED's acende como mostra a Figura 43.

Após a confirmação, cada aquisição de dados começa quando é premido o botão vermelho. Para terminar a recolha de dados deve ser premido novamente (na legenda do botão do DL1, como mostra a Figura 43, mostra a descrição *start / stop logging*). Por essa razão, é necessário ir tirando apontamentos, para saber que ensaios foram bem-sucedidos ou não, pois não há a possibilidade de eliminar dados quando

se está no terreno da experiência. Apenas se pode aceder aos dados e /ou apagá-los, caso sejam ensaios falhados, inserindo o cartão de memória num computador.

Para os testes de impacto, foram utilizados as mesmas velocidades e desníveis verticais expostos no subcapítulo anterior (3.3.1), também pelas mesmas razões apresentadas nesse subcapítulo. No entanto como já foi dito, foi usado mais um veículo (*Renault Clio*) nestes ensaios, perfazendo um total de três veículos. Outra diferença deste ensaio é que, para cada velocidade, foram realizadas três repetições para obter resultados mais fidedignos, para despistar possíveis erros e porque não era possível verificar a qualidade dos ensaios no terreno. Devido a isso mesmo, os ensaios eram longos e era necessário bastante tempo disponível, pelo que foram necessárias três tardes (ou seja, três dias), para os realizar. Uma tarde para cada veículo, consoante a disponibilidade. De resto, os ensaios foram em tudo semelhantes ao procedimento usado para a medição do nível de ruído, com algumas exceções.

Uma delas foi o caso em que um dos veículos não realizou todos os ensaios planeados. O *Volvo V70* não realizou os ensaios a 60 km/h em todos os desníveis verticais e os ensaios a 50 km/h na LRV de 5 cm de altura. Isto porque, este veículo era de uso pessoal e o dono do mesmo recusou-se a praticar as velocidades mais elevadas do ensaio (60 km/h) por temer que lhe danificasse o veículo de alguma forma. A mesma razão, aliada ao desconforto sentido na lombada de 5 cm fez com que não quisesse passar sobre ela a 50 km/h. Para além disso, era necessário realizar três ensaios por velocidade, o que torna compreensível a apreensão e a recusa do condutor em realizar esta parte dos testes de impacto.

A outra foi o facto de aquando do dia de ensaios do *Renault Clio*, os dois módulos traseiros estavam em reparação e melhorias (adição de sensores eletrónicos), pelo que estes foram substituídos por *dummies* na altura em que o ensaio foi realizado.

3.4 REFLEXÃO CRÍTICA

Os inquéritos e ensaios experimentais foram satisfatórios e permitiram obter resultados interessantes. Porém há defeitos a apontar, que num cenário ideal não deveriam acontecer.

A amostra dos inquéritos ficou perto de uma amostra representativa, pelo que era ideal ter mais tempo para realizar mais inquéritos, e assim aumentar o tamanho da amostra. A amostra ao ser maior, não só iria tornar os resultados mais fidedignos, como também iria tornar a amostra representativa da população, dando mais credibilidade às respostas obtidas.

No ensaio experimental de medição do nível de ruído, algumas normas não foram respeitadas (ISO 2015). A superfície do local de testes estava longe de ser o ideal, por ser de paralelos, sendo que o ideal seria uma via pavimentada. Os inconvenientes proporcionados pela conversa dos funcionários e ruído proveniente das obras eram também evitáveis se se adiassem os ensaios para outro dia. Mas, devido ao prazo apertado da dissertação e da agenda preenchida do técnico encarregue das medições, tornou-se impossível marcar outra data. No entanto, o facto de as instalações da CMM se situarem na rota dos aviões torna o local inapropriado.

Se possível, no futuro, deveria ser pensado um novo local para instalar os protótipos caso se pretenda realizar novos ensaios. Este local deveria ter uma superfície mais nivelada, constante e pavimentada. Deveria também ser um espaço livre de edifícios e outras superfícies refletoras (de maneira a que o raio livre de 50 m fosse cumprido). O local deveria ser exclusivo para testes visto que a circulação de funcionários levou à repetição de alguns ensaios. O aspeto mais importante a melhorar, seria mesmo a localização, para uma área com menos ruído. O facto de estar inserido num local de passagem constante de aviões perturbou em larga escala a realização dos ensaios. Era necessário que houvesse um compasso de espera de cada vez que ocorria a passagem de uma aeronave, o que levou a perdas de tempo

desnecessárias e à repetição de muitos ensaios. Tudo isto fez com que se perdesse imenso tempo, que poderia ser utilizado por exemplo para realizar mais medições por velocidade, tal como nos testes de impacto.

De facto, caso houvesse disponibilidade, era útil ter-se realizado mais medições por velocidade, nos ensaios do ruído para despistar valores potencialmente errados e para daí se calcular uma média. Apesar do técnico encarregue das medições estar sempre atento e mandar repetir os ensaios que lhe pareciam trazer resultados inadequados, é sempre útil realizar vários ensaios para despistar possíveis erros, indetetáveis aquando da realização dos ensaios.

No que toca aos ensaios experimentais de impacto, teria sido mais útil possuir um conjunto de software e hardware que permitisse a consulta dos resultados, ao mesmo tempo do decorrer da experiência. Tal aconteceu nos ensaios de ruído o que permitiu eliminar os ensaios inapropriados e detetar defeitos na experiência em si. Aliás, foi por isso mesmo que se considerou novos cenários nos testes de ruído. Ao concluir, através de ensaios anteriores, que uma série de medições estariam a ser influenciadas por defeitos potencialmente presentes nos dois módulos traseiros, estes foram substituídos pelos *dummies*, obtendo-se daí novos resultados. Essa é uma das razões pela qual seria ideal a obtenção de resultados *in loco*. Todavia os erros podem ser posteriormente eliminados na fase de análise de dados.

Outra sugestão de melhoria dos testes seria a possibilidade dos dois ensaios (medição de nível de ruído e teste de impacto) serem realizados em simultâneo. Tal só não aconteceu devido à calendarização dos eventos. Caso ambos os ensaios se realizassem ao mesmo tempo, ambos iriam beneficiar da repetição de três passagens por velocidade.

4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Após a realização dos inquéritos é importante analisar as respostas de forma a retirar as respetivas ilações. É, também, relevante analisar se as respostas se diferenciam de forma estatisticamente significativa por grupos de inquiridos com base nos dados sociodemográficos, de hábitos de condução, entre outros dos inquiridos. Para isso, foi realizada uma análise ANOVA (*analysis of variance*) no software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

No ensaio de medição do nível de ruído foram registados os valores de LA_{eq} e o $LA_{máx}$ para os três desnivelamentos verticais e posteriormente comparados. No entanto, foi necessário repetir três vezes os ensaios de medição para o sistema PEH.

Nos testes de impacto foram registadas as acelerações vertical e longitudinal e a partir desses valores foram deduzidos o conforto/desconforto e a redução de velocidade. Após o cálculo desses parâmetros que diferem entre as LRV e o sistema PEH, foram realizadas comparações entre esses valores.

Nos subcapítulos a seguir, apresenta-se a descrição dos resultados obtidos.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 INQUÉRITOS

4.2.1.1 Caracterização da amostra

Antes de analisar o inquérito em si é necessário definir questões que permitam caracterizar a amostra. Assim, neste subcapítulo são apresentadas e analisadas as características dos inquiridos.

A idade média da amostra dos 280 inquiridos é de 37,9 anos. A maior parte dos inquiridos é do sexo masculino (58,9 %) sendo que as restantes (115) são do sexo feminino.

Relativamente às habilitações escolares, pelo menos 92,2 % dos inquiridos completou o secundário, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - Habilitações Escolares dos inquiridos

Habilitações escolares	Percentagem
6º ano	0,7 %
9º ano	6,1 %

12º ano	26,8 %
Bacharelato	1,8 %
Licenciatura	39,6 %
Mestrado	24,6 %
Doutoramento	0,4 %

Dos 280 inquiridos, 52,5 % têm emprego e 12,5 % são desempregados. Dos restantes que ainda estudam, 11,8 % são trabalhadores-estudantes e 23,2 % são unicamente estudantes.

Da amostra recolhida, 88,2 % tem a carta de condução, sendo que a média de anos que a possuem é de 20,3 anos. Desta percentagem de condutores, 78,5 % conduzem um veículo ligeiro, 7,3 % um pesado e 14,2 % optaram por conduzir um motociclo. Já a frequência com que conduzem o seu veículo de noite e de dia varia, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - Período do dia em que os inquiridos caminham mais frequentemente

Período do dia	Frequência de Condução	Percentagem
Dia	Diariamente	73,7 %
	3 ou mais vezes por semana	14,2 %
	Entre 1 a 2 vezes por semana	7,3 %
	Menos de 1 vez por semana	4,9 %
Noite	Diariamente	41,7 %
	3 ou mais vezes por semana	31,2 %
	Entre 1 a 2 vezes por semana	15,4 %
	Menos de 1 vez por semana	11,7 %

Da totalidade da amostra, apenas 24 (8,6 %) dos inquiridos possui alguma dificuldade de mobilidade de carácter não temporário. Já no que diz respeito ao período do dia em que é mais frequente caminhar, a maioria dos inquiridos fá-lo de dia (51,8 %), enquanto que apenas 3,2 % o faz de noite. Os restantes 45 % afirmam fazê-lo com a mesma frequência em ambos os períodos do dia.

Apenas 14,3 % dos inquiridos afirma residir perto de uma LRV, cuja passagem de veículos sobre a mesma, lhes causa distúrbio. Dessa minoria (40 pessoas), 65 % afirma residir numa zona urbana ou centro metropolitano e as restantes 35 % diz viver numa zona residencial ou periférica. Dessa mesma amostra de 40 pessoas, 27,5 % afirma viver numa residência unifamiliar. As restantes que residem numa habitação coletiva, vivem maioritariamente no primeiro andar ou abaixo dele (57,5 %) enquanto que apenas 15 % vive acima do 1º andar.

4.2.1.2 Respostas ao inquérito

Neste subcapítulo vão ser expostas e analisadas as respostas em si, visto que a caracterização da amostra já foi feita no subcapítulo anterior.

Primeiramente vão ser expostas as respostas cujas respostas às questões, que estão presentes no Anexo A, foram apresentadas num formato de escala de Likert 1 a 5. O Quadro 6 apresenta a média das classificações dadas, bem como o desvio padrão.

Quadro 6 - Médias e Desvios Padrão das respostas, das perguntas em formato de escala de Likert de 1 a 5

Questão	Média	Desvio Padrão
1.1)	4,068826	0,532787
1.2)	3,052632	0,8466
1.3)a	2,955466	0,925058
1.3)b	3,631579	0,825098
1.3)c	3,955466	0,776981
1.3)d	4,246964	0,901524
1.3)e	4,684211	0,538624
1.4)	4,05668	0,730315
1.5)a	3,404858	1,042812
1.5)b	4,089069	0,796436
1.5)c	3,08502	1,034397
2.1)	3,864286	0,576862
2.2)	3,542857	0,810959
2.3)	2,985714	0,838036
2.6)a	3,828571	0,737552
2.6)b	4,364286	0,735293
2.6)c	3,303571	0,948865
3.1)	4,075	0,693837
3.2)	3,35	0,699817
3.3)	3	1,06217
4.1)	3,775	0,813914
4.2)	4,542857	0,686495
4.3)	3,639286	0,795525
4.4)	3,635714	0,791629
4.5)	4,467857	0,697437
4.6)	4,310714	0,766615

No Quadro 7 mostra-se os resultados em percentagem na medida em que as questões se subdividem em pelo menos dois tipos de respostas distintas (resposta de múltipla escolha).

Quadro 7 - Percentagem das respostas, das perguntas em formato de hipóteses

Questão	Hipóteses	Percentagem
1.6)	a.	73,3 %
	b.	13,8 %
	c.	8,9 %
2.4)	Sim	37,5 %
	Não	62,5 %
2.5)	Sim	16,8 %
	Não	83,2 %
2.7)	a.	75 %
	b.	7,5 %
	c.	17,5 %
4.7)	Sim	88,2 %
	Não	11,8 %

4.2.1.3 Análise das respostas com recurso à ANOVA

Neste subcapítulo irão ser analisadas as respostas com o recurso ao software SPSS que irá servir para realizar uma análise de variância (análise ANOVA). Esta análise serve para perceber a significância que os grupos de características dos inquiridos têm sobre determinada resposta. Para um limite de $p < 0,1$, ou seja, para um nível de confiança de 90 %, assumiu-se que os resultados são estatisticamente significantes, comparando-se assim as características dos inquiridos já apresentadas em 4.2.1.1.

Assim, todas as características dos inquiridos para uma dada secção do inquérito, que de alguma maneira influenciam significativamente as respostas a uma dada pergunta estão resumidas nos 4 quadros seguintes. Por questões de espaço, optou-se por incluir nos Quadros 8, 9, 10 e 11 a identificação das características dos inquiridos que mostraram ser estatisticamente significantes para as várias questões. Nos Anexos C apresentam-se as tabelas obtidas pelo software SPSS.

O Quadro 8, que remete para o Anexo C1, mostra que a características com maior presença nas respostas às várias questões é o tipo de veículo. Por outro lado, as respostas à questão 1.6 são claramente diferenciadas por diversas características dos inquiridos. De notar que esta secção de questões é direccionada aos condutores.

O Quadro 9, que corresponde ao Anexo C2, mostra as características dos inquiridos que influenciaram as respostas da secção 2 (peão) do inquérito. Neste caso, não há uma característica que se destaque como mais comum às várias questões. Da mesma forma, também não se destaca nenhuma questão cujas respostas sejam influenciadas por várias características dos inquiridos

Quadro 8 - Análise ANOVA da secção 1 do inquérito - condutor

Características dos Inquiridos	1.1)	1.2)	1.3)a	1.3)b	1.3)c	1.3)d	1.3)e	1.4)	1.5)a	1.5)b	1.5)c	1.6)
Sexo	X								X		X	
Situação Profissional								X				
Habilitações escolares								X				X
Idade		X										X
Anos de Carta de Condução		X										X
Tipo de veículo						X	X	X				X
Freq. Cond. Dia	X									X		X
Freq. Cond. Noite	X											X

Quadro 9 - Análise ANOVA da secção 2 do inquérito - peão

Características dos Inquiridos	2.1)	2.2)	2.3)	2.4)	2.5)	2.6)a	2.6)b	2.6)c	2.7)
Sexo						X		X	
Situação Profissional								X	
Habilitações escolares				X					X
Idade		X	X						
Dificuldade Mobilidade				X					
Freq. Caminhar (Período do dia)				X					

Da mesma maneira, o Quadro 10, cujo anexo correspondente é o C3, expõe as características dos inquiridos que influenciam as respostas da secção 3 (moradores). Também neste caso, não se salienta nenhuma característica nem questão em particular.

Quadro 10 - Análise ANOVA da secção 3 do inquérito - moradores

Características dos Inquiridos	3.1)	3.2)	3.3)
Sexo			
Situação Profissional		X	
Habilitações escolares		X	
Idade			
Zona Residencial	X		

Tipo de Residência	X	X
---------------------------	---	---

Por fim, as características dos inquiridos que influenciaram as respostas da secção 4 (novo sistema PEH), encontram-se no Quadro 11, e que corresponde ao Anexo C4. Neste quadro observa-se que a frequência com que o inquirido caminha influencia as respostas de várias questões. Por outro lado, as respostas à questão 4.3) são influenciadas por diversas características dos inquiridos.

Quadro 11 - Análise ANOVA da secção 4 do inquérito – sistema PEH

Características dos Inquiridos	4.1)	4.2)	4.3)	4.4)	4.5)	4.6)	4.7)
Sexo		X					X
Situação Profissional			X				X
Habilitações escolares				X			
Idade						X	X
Anos de Carta de Condução			X	X		X	
Tipo de veículo	X		X				X
Freq. Cond. Dia	X	X			X		
Freq. Cond. Noite	X	X	X				
Dificuldade Mobilidade			X	X			
Freq. Caminhar (Período do dia)		X	X	X	X	X	
Residência perto de uma LRV		X					X

A seguir, salienta-se as respostas que se julgam mais interessantes, sendo que em alguns dos casos a análise ANOVA revela resultados pertinentes que as diferenciam.

Logo na primeira questão, a 1.1), onde se questiona o cuidado que tem como condutor ao aproximar-se de uma passadeira, a média das respostas na escala Likert ronda os 4,07, como se pode verificar na Figura 45 pela grande percentagem de respostas de valor 4.

247 respostas

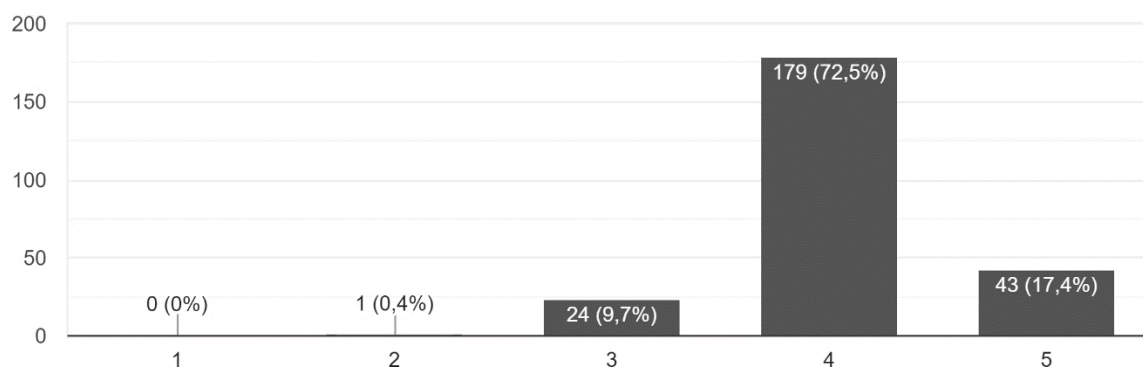


Figura 45 - Gráfico de Barras da resposta à questão 1.1)

Nesta questão em particular, a análise ANOVA revelou que existe significância estatística nas respostas para o sexo dos inquiridos ($F(1,245)=3,867$ ($p<0,05$)). De facto, a perceção de cuidado varia embora ligeiramente, pois a média das respostas para o sexo masculino é de 4,01 e do sexo feminino é de 4,15. Na questão equivalente 2.3), em que se questiona os peões, o cuidado com que os condutores se aproximam da passadeira, a média das respostas altera-se. A média das respostas passa a 2,99 que é um valor muito dispar comparado com a resposta anterior, como se pode ver na Figura 46. Na verdade este resultado é expectável pois quando o utente viário está numa posição de maior fragilidade como é o caso dos peões em relação aos condutores, os inquiridos percecionam um maior risco.

280 respostas

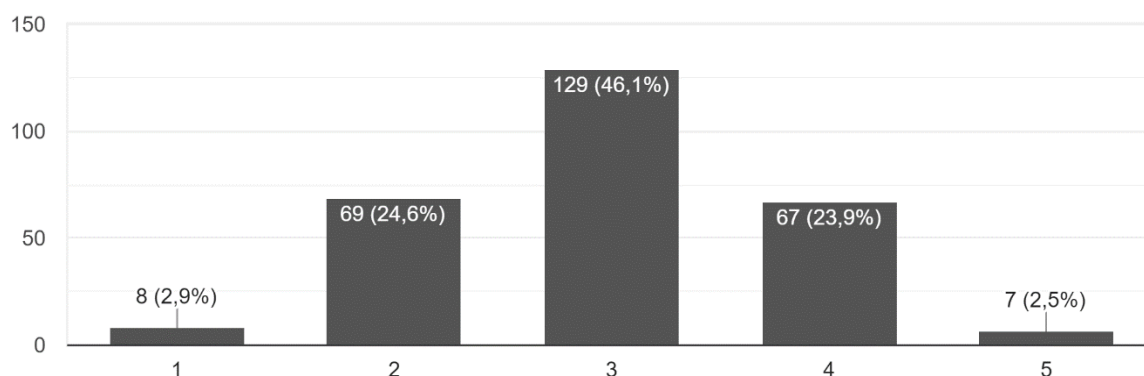


Figura 46 - Gráfico de barras das respostas à questão 2.3)

A análise ANOVA revelou a existência de significância estatística nas respostas para esta questão em função da dificuldade de mobilidade ($F(1,278)=6,164$ ($p<0,014$)). A média das respostas dos que afirmam ter alguma dificuldade em deslocar-se ronda os 2,58, e a dos que não possuem qualquer debilidade ronda os 3,03. Isto deve-se sobretudo ao facto de quem possui alguma dificuldade de mobilidade, fá-lo mais lentamente e, devido a isso, sente-se mais exposto aos perigos por atravessar a via de circulação.

Já para a questão 1.2) que questiona os condutores sobre o quão seguras as passadeiras são para a travessia de peões a média das respostas é de 3,05, como é perceptível pela Figura 47.

247 respostas

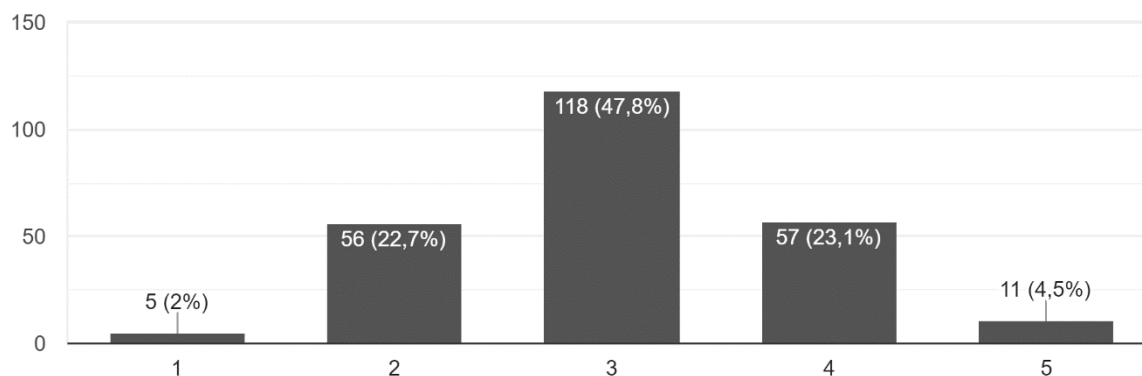


Figura 47 - Gráfico de barras das respostas à questão 1.2)

Segundo a análise ANOVA, existe uma significância estatística nos valores para esta questão em função da idade ($F(45,189)=1,537$ ($p<0,025$)) e anos de carta de condução ($F(48,198)=1,672$ ($p<0,008$)) dos inquiridos. As médias das respostas e função destas duas características estão presentes no Quadro 12.

Quadro 12 - Médias por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 1.2)

Características dos Inquiridos	Grupo	Média
Idade	18-35	3,02
	36-55	2,99
	Mais de 56	3,34
Anos de Carta de Condução	1-10	2,99
	11-25	2,96
	Mais de 26	3,18

De facto, os condutores mais experientes e mais velhos atribuem uma maior segurança às passadeiras como método de travessia para os peões. De certa forma, é expectável, em particular nos condutores mais velhos, pois associa-se geralmente este grupo de condutores a assumirem menos riscos.

Na questão paralela 2.2), dirigida aos peões, em que estes são questionados sobre o quão seguros se sentem ao atravessar a via de circulação na passadeira, a média das repostas é de 3,54. Logo, apesar de ir ao encontro da perspetiva dos condutores, estes sentem-se relativamente mais seguros, como mostra a Figura 48.

Nesta questão, a análise ANOVA revelou que existe significância estatística nos valores registados em função da idade dos inquiridos tal como anteriormente ($F(48,213)=1,584$ ($p<0,015$)). Efetivamente, como seria de esperar a sensação de segurança ao atravessar uma passadeira vai diminuindo conforme a idade, apesar dos resultados não serem muito expressivos. O grupo com idades compreendidas entre 15 e 35 anos tem uma média de respostas de 3,53, o grupo com idades entre 36 e 55 tem uma média de 3,49 e o grupo com mais de 56 anos tem uma média de 3,36.

280 respostas

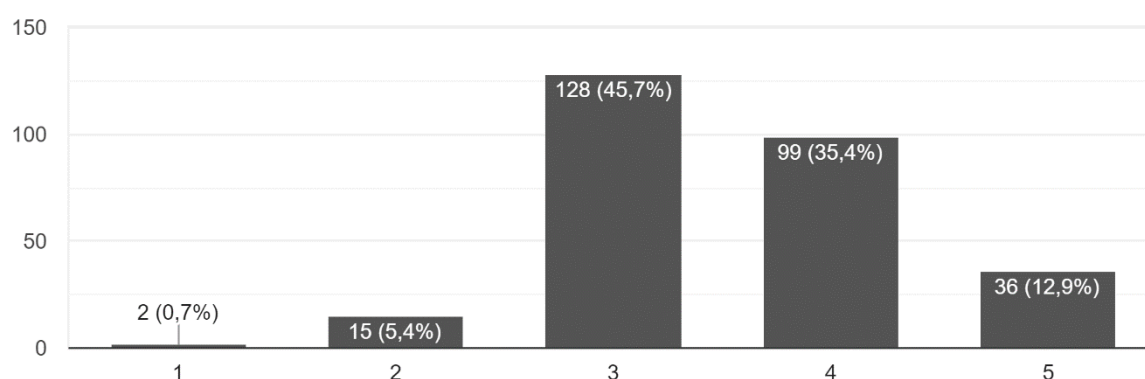


Figura 48 - Gráfico de barras das respostas à questão 2.2)

Na pergunta 1.4), os condutores são questionados sobre o desconforto que, passar sobre uma LRV, lhes traz. A média obtida é de 4,06 o que revela que, nesta amostra, grande parte dos inquiridos se sente desconfortável ao passar sobre uma LRV, como mostra a Figura 49

247 respostas

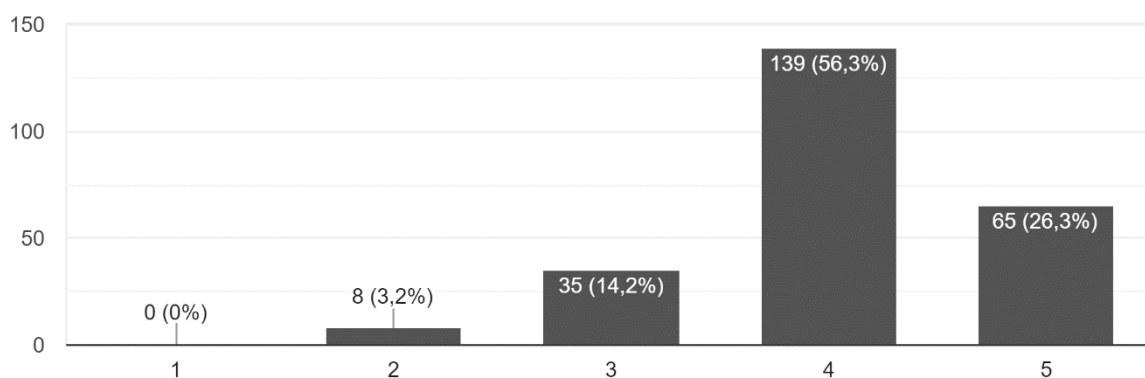


Figura 49 - Gráfico de barras das respostas à questão 1.4)

Nesta questão destaca-se que a análise ANOVA revelou a existência de significância estatística nos valores para esta questão em função do tipo de veículo usado pelo condutor ($F(2,244)=14,445$ ($p<0,000$)). É de facto notória a diferença, já que a média das classificações dos condutores dos veículos é de 3,93, mas a dos motociclos e dos veículos pesados são de 4,49 e 4,56, respetivamente. Isto revela que para além de haver um descontentamento geral, na amostra dos inquiridos, também há dois grupos particularmente afetados pelo desconforto da passagem sobre as LRV.

Quando questionados sobre as sugestões de melhoria das passadeiras, ambos os peões e condutores, desta amostra, concordaram que a melhor sugestão seria a de implementar um sistema de redução de velocidade junto às mesmas. Como é possível verificar pelo Quadro 6, as alíneas b) das questões 1.5) e 2.6) foram as que tiveram maior média nas respostas, sendo maior no caso dos peões, com uma média de 4,36. Já a média dos condutores é de 4,08.

No entanto apenas a questão 1.5)b demonstrou a existência de significância estatística por grupos de inquiridos, através da análise ANOVA, nos valores registados em função da frequência com que o condutor usa o seu veículo de dia ($F(3,243)=2,222$ ($p<0,086$)). Apesar de não existir uma tendência entre a frequência e a média das respostas, é possível afirmar que, para esta amostra, a frequência de condução do veículo durante o dia dos inquiridos faz com que a sua preferência varie. Essa diferença entre grupos pode ver pelo Quadro 13.

Quadro 13 - Médias por frequência de condução do veículo de dia, das respostas à questão 1.5)b

Frequência de Condução do veículo de dia	Média
Diariamente	4,17
3 ou mais vezes por semana	3,77
Entre 1 a 2 vezes por semana	4,17.
Menos de 1 vez por semana	4,08

No que toca a apontar o fator que torna as passadeiras mais perigosas, mais uma vez, os inquiridos, respondendo quer pela perspectiva de condutor (questão 1.6)) quer da perspectiva de peão (questão 2.7)), concordaram na escolha da alínea a), ou seja, velocidade excessiva praticada pelos automobilistas, sendo que há mesmo semelhanças nas percentagens, como se pode verificar nas Figuras 50 e 51.

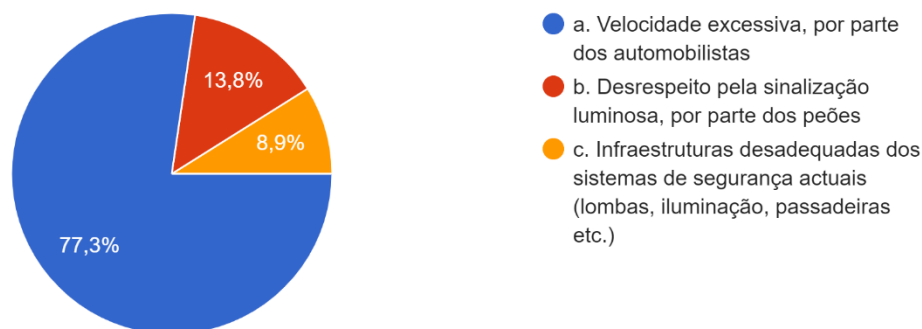


Figura 50 - Gráfico circular das respostas à questão 1.6)

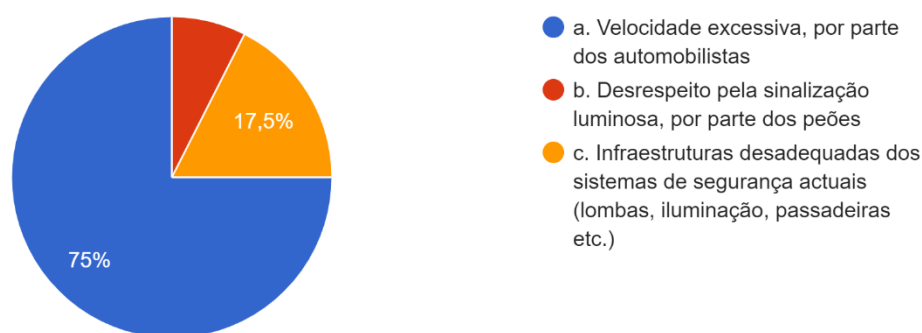


Figura 51 - Gráfico circular das respostas à questão 2.7)

Na questão 1.6), a análise ANOVA revelou que existe significância estatística nos valores registados para diversas características dos inquiridos. Os valores registados para as características consideradas pertinentes estão presentes no Quadro 14.

Quadro 14 - Análise ANOVA na questão 1.6)

Características dos Inquiridos	Resultados da análise ANOVA
Idade	F(48,213)=2,065 (p<0,000)
Anos de Carta de Condução:	F(48,198)=1,380 (p<0,066)
Tipo de veículo	F(3,276)=199,431 (p<0,000)
Frequência de Condução do veículo de dia	F(4,275)=152,382 (p<0,000)
Frequência de Condução do veículo de noite	F(4,275)=150,493 (p<0,000)

Como se pode verificar, esta é uma questão que salienta a variação da opinião dos inquiridos em função das suas características. As percentagens relativas a cada hipótese, estão presentes no Quadro 15.

Quadro 15 - Percentagens por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 1.6)

Características dos Inquiridos	Grupo	Alínea da resposta	Percentagem
Idade	18-35	a	81,2 %
		b	13,3 %
		c	5,5 %
	36-55	a	75,3 %
		b	13,6 %
		c	11,1 %
	Mais de 56	a	68,4 %
		b	15,8 %
		c	15,8 %
Anos de Carta de Condução:	1-10	a	81,8 %
		b	11,1 %
		c	7,1%
	11-25	a	78,9 %
		b	15,9 %
		c	5,2 %
	Mais de 26	a	69,3 %
		b	17,1 %
		c	13,6 %
Tipo de veículo	Ligeiro	a	78,3 %
		b	11,9 %
		c	9,8 %
	Motociclo	a	77,1 %
		b	20 %
		c	2,9 %
	Pesado	a	66,7 %
		b	22,2 %
		c	11,1 %
Diariamente		a	77,5 %

Frequência de Condução do veículo de dia	3 ou mais vezes por semana	b	13,2 %
		c	9,3 %
		a	88,6 %
	Entre 1 a 2 vezes por semana	b	5,7 %
		c	5,7 %
		a	66,7 %
	Menos de 1 vez por semana	b	22,2 %
		c	11,1 %
		a	58,3 %
	Diariamente	b	25 %
		c	16,7 %
		a	80,6 %
Frequência de Condução do veículo de noite	3 ou mais vezes por semana	b	12,6 %
		c	6,8 %
		a	77,9 %
	Entre 1 a 2 vezes por semana	b	14,3 %
		c	7,8 %
		a	76,3 %
	Menos de 1 vez por semana	b	7,9 %
		c	15,8 %
		a	65,5 %
	Diariamente	b	24,1 %
		c	10,4 %
		a	80,6 %

Duma maneira geral pode-se dizer, que quanto mais velho, mais experiente na condução, menos frequente na condução, o condutor desta amostra for, menos peso atribuí à velocidade dos automobilistas como sendo a causa principal de perigo nas passeadeiras. Já, no que toca ao tipo de veículo quem atribuí mais peso à velocidade, nesta amostra, são os condutores de veículos ligeiros, seguidos dos motociclos e dos veículos pesados.

Na questão 2.4), o inquirido é questionado, na perspetiva de peão, sobre ter assistido a alguma situação de perigo iminente ou atropelamento. 62,5 % responderam positivamente. Já na mesma temática, mas na perspetiva de quem já sofreu e não somente assistiu, 16,8 % respondeu positivamente.

Na questão 3.1) onde os inquiridos que residem perto de uma LRV que lhes perturba de alguma maneira, foram questionados sobre a gravidade desse distúrbio. A média das respostas foi de 4,08 o que mostra

que as LRV ainda são demasiado perturbadoras, no caso desta amostra, como se pode verificar na Figura 52.

40 respostas

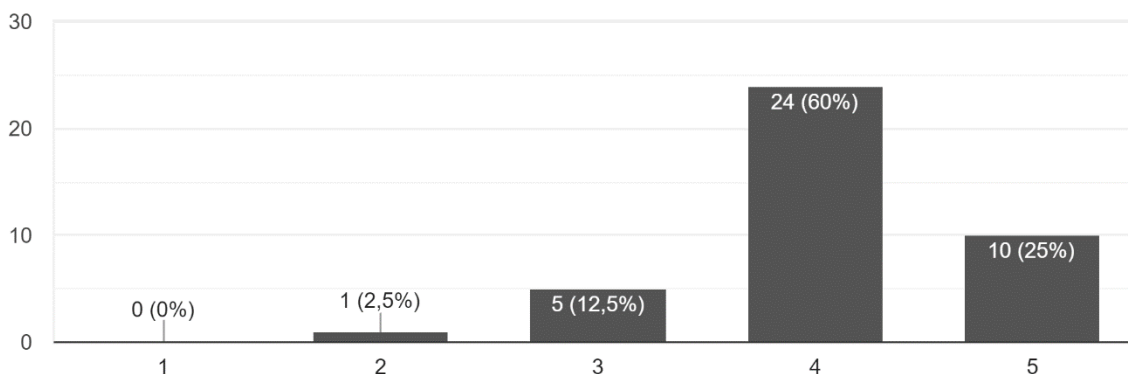


Figura 52 - Gráfico de barras das respostas à questão 3.1)

A análise ANOVA revelou a existência de significância estatística nos valores para esta pergunta registados em função do tipo de zona residencial ($F(1,38)=6,667$ ($p<0,014$)) e do tipo de residência ($F(2,37)=2,627$ ($p<0,086$)). Efetivamente, para os inquiridos que moram em zonas residenciais ou na periferia, a média é de apenas 3,71. Todavia, os inquiridos que residem em zonas urbanas ou centros metropolitanos atribuíram uma média de 4,27, o que é uma diferença considerável. No que respeita ao tipo de habitação, os inquiridos da amostra que vivem numa habitação unifamiliar, classificou o desconforto causado pelas LRV com uma média de 4,18. O mesmo se passa nas habitações coletivas em residentes da amostra que habitam o primeiro andar ou rés-do-chão, visto que atribuem a média de 4,17. Já os inquiridos que vivem acima do primeiro de andar, do mesmo tipo de habitação, são menos afetados, como já seria de esperar, classificando o desconforto causado pelas LRV, com uma média de apenas 3,50.

Passando agora para a secção 4 do inquérito, o Quadro 16, resume as propriedades do sistema PEH que os inquiridos preferem.

Quadro 16 – Classificação das medidas do sistema PEH, segundo a média das respostas da secção 4

Questão	Propriedade/Medida	Média
4.2)	Produção de energia elétrica 100% renovável	4,543
4.5)	Implementação de um sistema que, através da absorção do impacto, não danifique o veículo	4,468
4.6)	Implementação de um sistema que, através da absorção do impacto, não produza praticamente nenhum ruído	4,311
4.1)	Desaceleração dos veículos sem necessidade de haver intervenção por parte do condutor	3,775
4.3)	Iluminação do pavimento, para alertar os condutores para a proximidade de uma passadeira	3,639

4.4)	Recolha de dados de tráfego que levariam à adoção de medidas de segurança preventivas	3,635
-------------	--	--------------

Como mostra o Quadro 13, ou o Anexo C4, as respostas a estas questões apresentam significância estatística da análise de variância para diversas características da amostra. No entanto é difícil de generalizar/aferir a influência dessas características na média das respostas. Por outro lado, é de salientar que só se pode concluir que esta visão dos inquiridos é somente sobre do sistema PEH

Todavia, a preferência dos inquiridos recai sobre produção de energia renovável. Isto pode dever-se à crescente preocupação ambiental, da qual o mundo cada vez mais tem necessidade. Em segundo e terceiro lugar os inquiridos selecionaram as medidas que prometem, teoricamente, mais eficácia em relação às LRV, oferecendo uma solução com menos ruído e menos danos provocados no veículo, aquando da sua passagem. Em quarto aparece a oferta de redução de velocidade. Tal é curioso na medida que contradiz os resultados obtidos para as questões 1.5), 1.6), 2.6) e 2.7), em que a amostra mostrou preocupação com o excesso de velocidade. No que diz respeito às duas últimas medidas, é normal que não tenham sido tão tidas em conta como as restantes. Isto porque a iluminação de passadeiras é já uma medida comum. A recolha de dados ficou para último, provavelmente por ser algo que não tem impacto direto para os utentes. No entanto, para as autoridades competentes esta medida pode ser muito relevante para monitorização da rede.

Na questão final (4.7)), onde os inquiridos são questionados sobre aprovação da substituição das LRV pelo sistema PEH, a amostra respondeu positivamente em 88,2 % das vezes. Esta demonstrou a existência de significância estatística, através da análise ANOVA, nos valores registados para cinco características diferentes dos inquiridos. Dessas destacam-se as seguintes:

- Sexo ($F(1,278)=2,814$ ($p<0,095$))
- Idade ($F(48,213)=1,365$ ($p<0,071$))
- Tipo de Veículo que conduz com mais frequência ($F(1,278)=3,921$ ($p<0,049$))
- Residência perto de LRV que causa perturbações ($F(1,278)=3,896$ ($p<0,049$))

A maneira de como esses resultados se expressam, está exposta no Quadro 17.

Quadro 17 - Taxa por grupos das características dos inquiridos, das respostas à questão 4.7)

Características dos Inquiridos	Grupo	Taxa de aprovação
Sexo	Masculino	90,9 %
	Feminino	84,3 %
Idade	15-35	92,1%
	36-55	82,1%
	Mais de 56	86,4 %
	Ligeiro	85,6 %
Tipo de Veículo	Motociclo	91,4 %
	Pesado	100 %
	Sim	97,5 %
Residência perto de uma LRV	Não	86,7 %

Como se pode verificar o sexo feminino não avalia percentualmente de forma tão positiva o sistema em relação ao sexo masculino. Quanto à idade, o grupo dos inquiridos mais novos, mostra mais abertura a uma nova tecnologia, como já seria de esperar. Quanto ao tipo de veículo, os condutores de veículos ligeiros ficam abaixo da média percentual total de aprovações. Já, os condutores de motociclos ficam percentualmente bem acima da média, chegando, no caso dos pesados a atingir uma aprovação de 100 %. Isto pode dever-se não propriamente com a aprovação do sistema PEH em si, mas com o descontentamento para com as LRV como já se verificou em questões anteriores. Também, como seria de esperar, os afetados pelo ruído das lombas nas suas residências, dão preferência a algo que, teoricamente, trará menos incómodos.

4.2.2 TESTES DE RUÍDO

No ensaio experimental de medição do nível de ruído foram medidos vários parâmetros, sendo que os únicos que interessavam eram o LA_{eq} e o $LA_{máx}$, cujo significado já foi mencionado no subcapítulo 3.3.1 deste documento.

No decorrer do ensaio foram feitas três medições em diferentes condições do sistema PEH, como também já mencionado no mesmo subcapítulo, onde é descrita a razão pela qual elas se sucederam. Essas tentativas passam a denominar-se da seguinte maneira:

- T1 (primeira tentativa): ensaio feito em más condições acústicas;
- T2 (segunda tentativa): ensaio feito em boas condições acústicas;
- T3 (terceira tentativa): ensaio feito em boas condições acústicas, onde os módulos traseiros do sistema PEH foram substituídos por *dummies*.

A características mais pertinentes dos veículos usados neste ensaio, são os motores devido ao ruído que produzem. Portanto, para este teste, o *Nissan Leaf* passará a ser referido como o veículo elétrico e o *Volvo V70* denominar-se-á de veículo diesel.

Os resultados dos ensaios, bem como a média das três tentativas de medição do sistema PEH, para o valor de LA_{eq} podem ser vistos no Quadro 18 e para o valor de $LA_{máx}$, no Quadro 19.

Quadro 18 - Valores do LA_{eq} para diferentes velocidades, por veículo, por desnível vertical, em dBA

V (km/h)	Veículo	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH			
				T1	T2	T3	Média
20	Elétrico	56,8	58,2	61,6	59,7	61,2	60,8
	Diesel	59,5	57,9	59,9	60,5	62,0	60,8
30	Elétrico	63,7	68,4	68,5	65,5	65,0	66,3
	Diesel	64,4	65,7	64,7	66,3	66,2	65,7
40	Elétrico	68,2	68,6	69,3	69,1	70,7	69,7
	Diesel	68,0	70,8	69,0	70,2	68,8	69,3
50	Elétrico	70,5	76,3	72,4	71,9	73,6	72,6
	Diesel	70,4	70,8	73,8	72,0	71,0	72,3
60	Elétrico	71,7	74,9	76,7	74,2	73,1	74,7

Diesel	74,8	74,3	74,4	75,3	73,3	74,3
---------------	------	------	------	------	------	------

Quadro 19 - Valores do $LA_{m\acute{a}x}$ para diferentes velocidades, por veículo, por desnível vertical, em dBA

V (km/h)	Veículo	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH			
				T1	T2	T3	Média
20	Elétrico	63,0	60,8	65,5	64,7	68,6	66,3
	Diesel	64,8	62,3	67,2	66,3	67,5	67,0
30	Elétrico	71,5	76,7	73,7	70,9	74,0	72,9
	Diesel	70,9	68,4	69,7	71,3	69,9	70,3
40	Elétrico	73,8	72,6	73,8	73,6	77,9	75,1
	Diesel	74,5	74,3	73,8	75,2	74,9	74,6
50	Elétrico	77,5	82,2	77,0	76,6	81,3	78,3
	Diesel	77,9	74,2	77,4	77,3	78,1	77,6
60	Elétrico	79,4	78,7	82,0	78,9	79,9	80,3
	Diesel	80,2	78,6	79,8	80,0	80,0	79,9

Devido a uma variedade de fatores do campo da engenharia acústica, como uma simples conversa à distância, ou o passar de um veículo na estrada mais próxima, ou até o eixo das rodas do veículo que não é totalmente paralelo ao desnível vertical, no momento da passagem sobre o desnivelamento vertical, os valores não se mostram lineares por cada tentativa.

Para além disso, foi identificada pelo técnico encarregue da medição uma ocorrência ocasional de um barulho metálico, quando a tampa do sistema PEH atingia o seu ponto mais baixo. Isto quer dizer que o protótipo não estava nas melhores condições para ser alvo deste tipo de teste, pois os componentes interiores dos módulos estavam a chocar entre si. A própria tentativa 3, em que se mudou o cenário de medição, substituindo os módulos traseiros por *dummies* foi uma tentativa falhada de resolver o problema.

No entanto foi feita uma comparação percentual entre a média dos valores lidos do sistema PEH e as respetivas LRV. Esta diferença está presente no Quadro 20 para os valores de LA_{eq} e o $LA_{m\acute{a}x}$. Os casos com percentagem positiva revelam resultados favoráveis ao sistema PEH e vice-versa.

Quadro 20 - Diferenças percentuais entre as LRV e a média do sistema PEH

V (km/h)	Veículo	LA_{eq}		$LA_{m\acute{a}x}$	
		LRV 3 cm	LRV 5 cm	LRV 3 cm	LRV 5 cm
20	Elétrico	-7,1%	-4,5%	-5,2%	-9,0%
	Diesel	-2,2%	-5,0%	-3,4%	-7,5%
30	Elétrico	-4,1%	3,0%	-1,9%	5,0%
	Diesel	-2,1%	-0,1%	0,8%	-2,8%

40	Elétrico	-2,2%	-1,6%	-1,8%	-3,4%
	Diesel	-2,0%	2,1%	-0,2%	-0,4%
50	Elétrico	-3,0%	4,8%	-1,0%	4,7%
	Diesel	-2,7%	-2,1%	0,4%	-4,6%
60	Elétrico	-4,1%	0,3%	-1,1%	-2,0%
	Diesel	0,6%	0,0%	0,3%	-1,7%

Como se pode verificar o LA_{eq} e o $LA_{máx}$ apresentam ambos apenas resultados favoráveis ao sistema PEH no caso dos ensaios a 30 e 50 km/h do veículo elétrico. Estes valores para além de não seguirem a tendência do Quadro 20, já mostram já diferenças relevantes. No entanto este quadro mostra que o sistema PEH ainda tem melhorias a realizar, pois, de uma maneira geral, as LRV, apesar de não ultrapassarem uma diferença de 10 %, continuam a produzir menos ruído do que o sistema PEH.

4.2.3 TESTES DE IMPACTO

A análise dos testes de impacto foi realizada com o software da *Race Technology* sendo que neste caso já não se trata da componente de configuração, presente na Figura 44, mas sim de uma componente de análise, exemplificada na Figura 53.

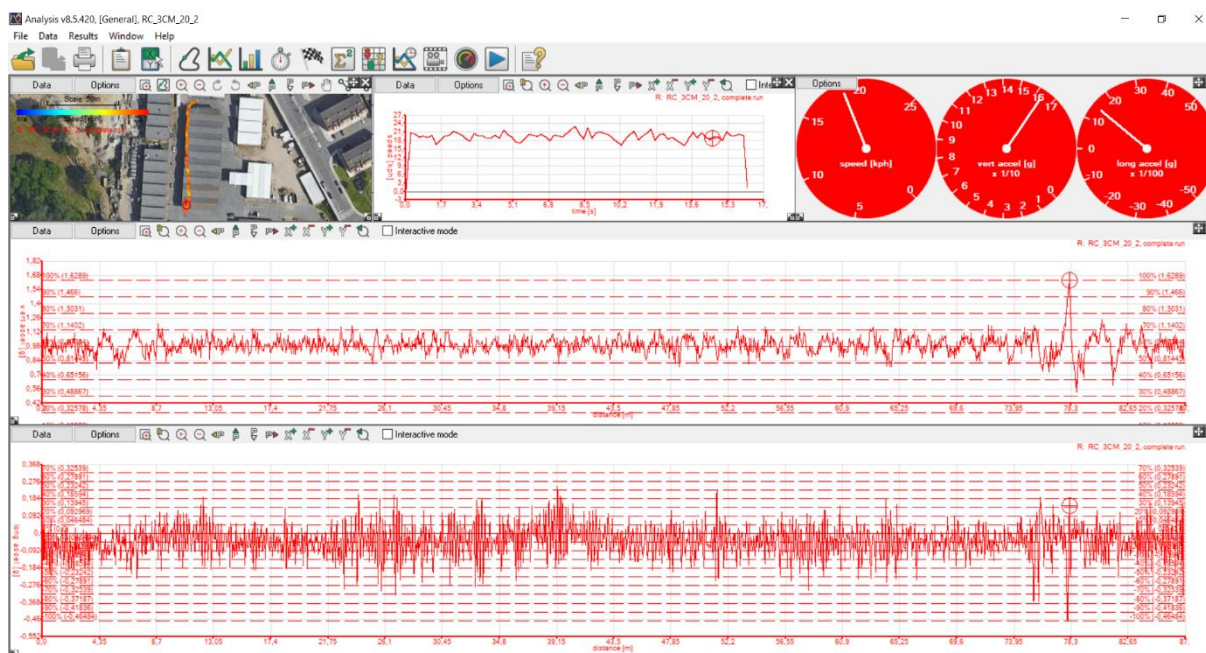


Figura 53 – Exemplo do layout do software de análise de dados da *Race Technology* (exemplo retirado do segundo ensaio a 20 km/h, com o *Renault Clio* a passar sobre a LRV de 3 cm)

A imagem do canto superior esquerdo desta figura, mostra um mapa com um traço multicolor, captado pelo sensor de GPS, que representa o trajeto percorrido pelo veículo. As cores quentes desse mesmo traço representam as velocidades máximas atingidas, enquanto que as frias, representam as mínimas. Do lado direito desse mapa encontra-se um gráfico com a velocidade, captada pelo GPS, em função do

tempo. No canto superior direito estão presentes 3 mostradores que representam a velocidade e as acelerações vertical e longitudinal, todas do mesmo momento temporal selecionado. Isto porque ao selecionar uma parte do trajeto, ou um valor no gráfico velocidade, ou um dos gráficos das acelerações, fará com que mostre os valores na mesma abcissa temporal nos restantes gráficos e mapa. Note-se que esta figura corresponde ao momento em que o veículo passa a LRV e atinge a máxima aceleração vertical, como se vê pelo gráfico da aceleração vertical (gráfico central da imagem), onde é possível visualizar um símbolo de forma circular. Ao selecionar esse valor máximo, o mesmo símbolo surge nos restantes dois gráficos, surgindo também a localização do veículo para esse momento, através de uma pequena circunferência no mapa. Por último o gráfico mais abaixo representa a variação da aceleração longitudinal consoante o tempo de ensaio.

No que diz respeito aos resultados dos ensaios experimentais, verificou-se que os resultados dos mesmos terão sido influenciados pelas más condições do local, nomeadamente a superfície do local de testes ser em paralelo. De facto, pela visualização dos gráficos das acelerações máximas e mínimas, não foi possível em determinadas situações, concluir de forma clara quais os valores a selecionar. Para ultrapassar essa dificuldade, foram usados os dados da localização em conjunto com os da velocidade, por saber onde se localizava o desnivelamento vertical no mapa e por saber que a velocidade teria de ser aproximadamente constante aquando da passagem do veículo sobre esse desnível.

4.2.3.1 Teste de Conforto – Medição da aceleração vertical

Para medir o conforto, da passagem sobre os desníveis verticais recorreu-se à medição da aceleração vertical. Nestas medições observou-se que os valores nunca partiam do zero, o que já era expectável, devido à força da gravidade (1 g). No entanto havia mais um acréscimo para além do 1 g, que não era suposto aparecer nas medições. Mais uma vez, o facto da superfície do local de testes da CMM ser constituído por paralelos, terá perturbado os ensaios. Devido a esta inconveniência, foi necessário realizar novos testes de circulação nas instalações da CMM, sem qualquer obstáculo, para “zerar” os valores e assim obter a o verdadeiro valor da variação da aceleração vertical. Foram feitas duas passagens por velocidade, com a carrinha *Renault Clio* e os resultados estão presentes no Quadro 21.

Quadro 21 - Valores da A_v , sem obstáculos, nas instalações da CMM, com o *Renault Clio*

V (km/h)	Passagem	A_v (g)	A_v (g)
20	1	1,117	1,127
	2	1,137	
30	1	1,113	1,164
	2	1,215	
40	1	1,23	1,2125
	2	1,195	
50	1	1,211	1,1895
	2	1,168	
60	1	1,152	1,1425
	2	1,133	

Depois de analisados os resultados e como não há uma tendência crescente, sendo até relativamente constante, resolveu-se calcular a média das médias já existentes de cada velocidade. O resultado final do valor de base da aceleração vertical é de 1,1671 g.

Com o valor de base já definido é agora possível determinar o grau de conforto, que cada aceleração vertical transmite ao condutor.

Os valores obtidos nos ensaios experimentais, bem como as médias por velocidade estão presentes nos Anexos D. Porém estes são dados sem tratamento, sendo que ainda é necessária aplicar a dedução já referida.

O Quadro 22 apresenta as medições da aceleração vertical, já com a dedução aplicada às médias e convertidos para m/s^2 , multiplicando o resultado em g, registado pelo DL1, por 9,80665.

Quadro 22 - Aceleração vertical, por veículo, por velocidade, por desnível vertical com a dedução aplicada, em m/s^2

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
Nissan Leaf	20	2,76711	3,877549	0,910711
	30	2,779531	4,107352	1,795271
	40	2,894269	4,591147	1,981434
	50	4,6307	3,850091	1,298727
	60	5,026889	7,606038	1,718779
	MÉDIA	3,6197	4,806435	1,540984
Volvo V70	20	3,55818	6,330519	2,231013
	30	7,130742	12,39462	2,831834
	40	5,95754	11,02823	4,363632
	50	6,683886	n.a.	6,485138
	MÉDIA	5,832587	9,917792	3,977904
Renault Clio (carrinha)	20	4,720268	4,75884	1,106517
	30	4,273411	5,397253	2,112352
	40	5,575734	6,904208	2,115294
	50	3,290131	7,784846	1,987808
	60	7,018946	9,700411	2,039129
	MÉDIA	4,98	6,91	1,87

Como se pode verificar as acelerações verticais variam de veículo para veículo não havendo uma conclusão imediata, em que se possa afirmar que um tenha valores mais altos que outro. No entanto, tendo em conta a maior parte dos valores é perceptível que o *Volvo* tem tendência a registar valores mais altos, seguido do *Renault*, sendo o *Nissan* quem captou os valores mais baixos.

É também perceptível uma tendência no que toca ao tipo de desnível. A LRV de 5 cm tende a registar valores mais altos, seguida da LRV de 3 cm. Portanto, o sistema PEH foi o desnível que menos desconforto causou. Para perceber essa diferença, o Quadro 23 resume em percentagem as diferenças entre as acelerações medidas, sendo que também é exposta a média por veículo

Quadro 23 – Percentagem de diferença da aceleração vertical das LRV em relação ao sistema PEH

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm
Nissan Leaf	20	67%	77%
	30	35%	56%
	40	32%	57%
	50	72%	66%
	60	66%	77%
	MÉDIA	57%	68%
Volvo V70	20	37%	65%
	30	60%	77%
	40	27%	60%
	50	3%	n.a.
	MÉDIA	32%	60%
Renault Clio (carrinha)	20	77%	77%
	30	51%	61%
	40	62%	69%
	50	40%	74%
	60	71%	79%
	MÉDIA	60%	72%

Como é perceptível pelo Quadro 23 o veículo onde se notou uma melhoria mais acentuada, face às LRV foi o Renault. Isto pode dever-se sobretudo ao facto de o teste realizado com este veículo ter sido feito sem os módulos traseiros que foram substituídos por *dummies*, que são paralelos ao pavimento, diminuindo assim o impacto causado pelo sistema PEH.

Até agora, apenas se interpretou os resultados tendo por base o método comparativo. Ou seja, os resultados foram não só comparados entre si, como também foram tidos em conta os vários fatores que os influenciam. No entanto, existem já estudos e normas sobre a avaliação do conforto/desconforto baseados numa determinada escala ou limite. Para esta dissertação vão ser tidos em conta 2 limites e uma escala. A classificação final, no entanto, não deve depender da média total de velocidades visto que considerá-las todas seria descabido. Isto porque em média as LRV estão dimensionadas para velocidades de projeto entre os 20 e 35 km/h. Portanto, será contabilizada uma média entre os valores das acelerações verticais entre os 20 e 30 km/h, que passará a designar-se de média (20-30). Os resultados deste cálculo estão presentes no Quadro 24.

Quadro 24 - Média da aceleração vertical das velocidades de 20 e 30 km/h, por veículo, por desnível vertical, em m/s^2

Veículo	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
Nissan Leaf	2,773321	3,992451	1,352991
Volvo V70	5,344461	9,362572	2,531423
Renault Clio (carrinha)	4,496839	5,078047	1,609435

O primeiro limite, usado em estudos como Silva (2010), foi o limite deduzido no estudo de *Watts* (Watts 1973) que concluiu que os condutores limitam como o máximo desconforto suportável valores acima de uma aceleração vertical de 0,7 g que corresponde a $6,85 m/s^2$. A classificação consoante este limite está presente no Quadro 25 que mostra em que situações esse limite foi ultrapassado.

Quadro 25 - Classificação de conforto, segundo o limite de *Watts*, das acelerações verticais, por veículo, por velocidade, por desnível vertical

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
Nissan Leaf	20	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	30	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	40	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	50	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	60	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	MÉDIA	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	MÉDIA (20-30)	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
Volvo V70	20	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	30	Acima do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	40	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	50	Abaixo do Limite	n.a.	Abaixo do Limite
	MÉDIA	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	MÉDIA (20-30)	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
Renault Clio (carrinha)	20	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	30	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	40	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite	Abaixo do Limite
	50	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	60	Acima do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite
	MÉDIA	Abaixo do Limite	Acima do Limite	Abaixo do Limite

MÉDIA (20-30) Abaixo do Limite Abaixo do Limite Abaixo do Limite

Segundo o limite de *Watts*, e tendo em conta a média total, apenas o sistema PEH é classificado como estando abaixo do limite de desconforto máximo suportável, em todos os veículos. Sendo o Nissan o veículo que tinha resultados mais baixos de acelerações verticais este acaba por considerar que nenhum dos desnivelamentos ultrapassa o limite (apenas no caso da LRV de 5 cm na velocidade máxima, ultrapassou o limite). Já se a média utilizada for a média (20-30), a LRV de 3 cm também passa a estar abaixo dos limites em todos os veículos.

Passando agora para o segundo limite, usado por Silva e Santos (2011), pode-se dizer que completa o limite anterior. Isto porque esta limitação definida pela AASHTO (AASHTO 2010), diferencia o que é confortável e desconfortável, podendo ser visto como um limite mínimo. O limite usado pelos americanos é de $0,3 \text{ m/s}^2$. Visto que todos os valores estão acima desse valor, segundo este limite, tudo é classificado como desconfortável.

É necessário então uma escala que quantifique o desconforto. No estudo de Duarte (2017) foi usada uma escala classificativa, definida pela norma ISO 2631-1:1997 (ISO 1997) na tentativa de tentar quantificar o quão desconfortável seria um dado desnivelamento vertical. Esta classificação, presente no Quadro 26, apesar de detalhada dá aso a interpretações subjetivas, isto porque podem existir valores que são entram em duas classificações.

Quadro 26 – Classificação de desconforto (ISO 1997)

Aceleração vertical(m/s^2)	Nível de desconforto
<0.315	Não Desconfortável (ND)
0.315-0.630	Pouco Desconfortável (PD)
0.500-1.000	Razoavelmente Desconfortável (RD)
0.800-1.600	Desconfortável (D)
1.250-2.500	Muito Desconfortável (MD)
>2.000	Extremamente Desconfortável (ED)

Segundo a norma ISO 2631-1:1997, a classificação do desconforto dos ensaios, pode ser resumida no Quadro 27

Quadro 27 – Classificação do desconforto dos ensaios, segundo a norma ISO 2631-1:1997

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
Nissan Leaf	20	ED	ED	RD - D
	30	ED	ED	MD
	40	ED	ED	MD
	50	ED	ED	D - MD
	60	ED	ED	MD

Volvo V70	MÉDIA	ED	ED	D - MD
	MÉDIA (20-30)	ED	ED	D - MD
	20	ED	ED	MD - ED
	30	ED	ED	ED
	40	ED	ED	ED
	50	ED	n.a.	ED
	MÉDIA	ED	ED	ED
	MÉDIA (20-30)	ED	ED	ED
	20	ED	ED	D
	30	ED	ED	MD - ED
	40	ED	ED	MD - ED
	50	ED	ED	MD
	60	ED	ED	MD - ED
	MÉDIA	ED	ED	MD
	MÉDIA (20-30)	ED	ED	D-MD
Renault Clio (carrinha)	20	ED	ED	D
	30	ED	ED	MD - ED
	40	ED	ED	MD - ED
	50	ED	ED	MD
	60	ED	ED	MD - ED
	MÉDIA	ED	ED	MD
	MÉDIA (20-30)	ED	ED	D-MD
	20	ED	ED	D

Estes resultados mostram que apenas o sistema PEH consegue atingir níveis de desconforto mais suportáveis, revelando assim algum potencial de serem uma medida melhor no campo o conforto do condutor. Daí é possível concluir também que os danos no veículo também serão menores, visto que o desconforto e danos estão ambos diretamente relacionados com a aceleração vertical.

4.2.3.2 Teste de Redução de Velocidade – Medição da aceleração longitudinal

Para medir a redução da velocidade, causada pela passagem sobre os desníveis verticais recorreu-se à medição da aceleração longitudinal. No entanto, para analisar essa diminuição de velocidade decorrente da passagem do veículo será necessário fazer uma série de cálculos e conversões simples, visto que é pretendido obter o resultado final em km/h e os valores da aceleração longitudinal serem registados no DL1 em g.

Primeiramente há que converter o resultado de g para m/s^2 bastando apenas para isso multiplicar o resultado em g por 9,80665. De seguida é necessário saber o tempo que cada desnível demora a ser percorrido. Para isso, é necessário saber a largura de cada obstáculo, pois a velocidade a que se passa sobre ele é tida como constante em cada ensaio. As larguras dos obstáculos são: 50 cm no LRV de 3 cm, 90 cm no LRV de 5 cm e 60 cm no sistema PEH. Ao multiplicar a largura do obstáculo em metros por 3,6 e dividir pela velocidade de cada ensaio em km/h é possível obter o tempo em segundos de cada passagem, como se pode ver no Quadro 28

Quadro 28 - Tempo que demora a passar cada obstáculo, por velocidade, em segundos

V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
20	0,09	0,162	0,126
30	0,06	0,108	0,084
40	0,045	0,081	0,063
50	0,036	0,0648	0,0504
60	0,03	0,054	0,042

O passo seguinte consiste em multiplicar a aceleração já anteriormente convertida para m/s^2 , pelo tempo do Quadro 28 obtendo-se assim uma velocidade em m/s .

No entanto é preciso contabilizar o ganho de aceleração no caso das LRV por estas terem uma curvatura que é constituída por partes ascendente e descendente. Para isso foi retirado o valor da aceleração positiva imediatamente a seguir ao valor da desaceleração. Visto que as LRV são constituídas por uma secção transversal simétrica e a velocidade com que se passa sobre as lombas ser considerada constante, é utilizado para cada aceleração longitudinal (negativa e positiva) metade do tempo do Quadro 28. De seguida, é feita a diferença entre estes dois valores de modo a obter o valor da redução de velocidade final.

Após ter esta exceção em conta, para chegar ao resultado em km/h é multiplicar a velocidade em m/s por 3,6.

Por fim, é necessário perceber que até agora foram usados os picos de aceleração longitudinal para tornar a aceleração numa variação de velocidade em km/h . No entanto considerar o pico da variação de velocidade estaria errado pois a própria variação da aceleração não é linear nem constante. Portanto é necessário aproximar a variação de velocidade a um valor médio. Para isso foi utilizada a mesma simplificação matemática que é usada para as ondas sinusoidais, como se pode ver na Figura xx, onde o valor máximo é multiplicado por 0,637 para assim obter o valor médio (Gopalakrishnan e Raut 2019).

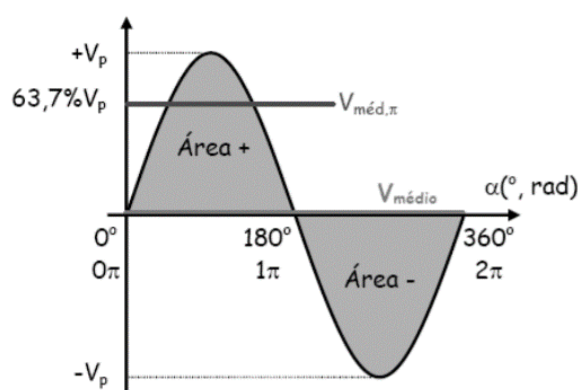


Figura 54 - Valor Médio de uma onda sinusoidal (Gopalakrishnan e Raut 2019)

Os valores obtidos nos ensaios experimentais, bem como as médias por velocidade estão presentes nos Anexos D. Porém estes são dados sem tratamento, sendo que ainda necessários os cálculos referidos, para chegar aos resultados pretendidos.

As medições da redução de velocidade são apresentadas no Quadro 29, já na unidade pretendida (km/h).

Quadro 29 - Redução de velocidade por tipo de veículo, por velocidade, por desnível vertical, em km/h

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm	Sistema PEH
Nissan Leaf	20	0,338638	0,351018	0,708486
	30	0,184483	0,487049	0,58537
	40	0,066538	0,092494	0,503631
	50	0,075899	0,572121	0,36893
	60	0,022399	0,59296	0,485799
	MÉDIA	0,137591	0,419128	0,530443
Volvo V70	20	0,046083	0,147608	0,653137
	30	-0,07199	-0,00636	0,833861
	40	-0,02439	0,617879	0,564493
	50	-0,00466	n.a.	0,373388
	MÉDIA	-0,01374	0,253044	0,60622
Renault Clio (carrinha)	20	0,325479	0,768432	0,981377
	30	0,172162	0,775745	0,654302
	40	0,133756	0,153003	0,671508
	50	0,048481	0,737178	0,597693
	60	0,045686	0,648299	0,605086
	MÉDIA	0,145113	0,616532	0,701993

Como é perceptível, pela análise simples das médias, o desnivelamento vertical que teve melhores resultados foi o sistema PEH. Os valores negativos indicam um ganho de velocidade. Este fenómeno apenas se sucedeu com o veículo *Volvo V70*. Para melhor perceber o quão diferentes os resultados são entre dispositivos, o Quadro 30 resume em percentagem as diferenças entre as reduções de velocidade medidas, tendo também em conta a média por veículo (a percentagem negativa transmite resultados negativos na perspetiva do sistema PEH).

Quadro 30 - Percentagem de diferença da aceleração vertical das LRV em relação ao sistema

Veículo	V (km/h)	LRV 3cm	LRV 5cm
Nissan Leaf	20	52,20%	50,46%
	30	68,48%	16,80%
	40	86,79%	81,63%

	50	79,43%	-55,08%
	60	95,39%	-22,06%
	MÉDIA	76%	14%
Volvo V70	20	92,94%	77,40%
	30	108,63%	100,76%
	40	104,32%	-9,46%
	50	101,25%	n.a.
	MÉDIA	102%	56%
Renault Clio (carrinha)	20	66,83%	21,70%
	30	73,69%	-18,56%
	40	80,08%	77,21%
	50	91,89%	-23,34%
	60	92,45%	-7,14%
	MÉDIA	81%	10%

É de facto notória a diferença entre o sistema PEH e as LRV, sendo o sistema modular reduz, segundo as médias, mais de 75 % a velocidade comparando com a LRV de 3 cm e mais de 10% com a de 5 cm.

4.3 REFLEXÃO CRÍTICA

Depois da recolha e análise de dados dos inquéritos e dados experimentais várias conclusões podem ser retiradas.

No que diz respeito aos inquéritos, determinadas ilações poderem ser retiradas sendo, contudo, de salientar que estas só devem ser associadas à amostra analisada pois a amostra não é representativa da população portuguesa. Sugere-se por isso a continuação da implementação deste inquérito no futuro de forma a atingir uma amostra que se possa considerar representativa.

Para além disso, na análise das respostas obtidas dos inquéritos é importante seleccionar as respostas que mostram uma opinião mais acentuada, que evidencie a necessidade de mudança ou o descontentamento em geral.

No decorrer do inquérito, em determinadas respostas foi possível perceber a opinião dos inquiridos em relação à temática do excesso de velocidade. Este fator foi apontado como sendo a principal causa da insegurança nas passadeiras, sendo que a medida sugerida que mais apoio teve foi também aplicação de medidas que levassem à redução da velocidade dos condutores. Também foi perceptível a diferença de noção de cuidado entre peões e condutores inquiridos, quando estes últimos se aproximavam das passadeiras. Segundo as respostas também é notório que continuam a acontecer demasiados acidentes que envolvem peões nas mesmas.

Também foi evidente o descontentamento no que toca às LRV. O desconforto ao passar sobre elas, segundo os inquiridos condutores foi notório, sendo que os condutores inquiridos de veículos pesados e

motociclistas classificam de forma mais evidente este desconforto. Os inquiridos que residem perto das LRV também afirmam serem afetados, particularmente quem vive mais perto do nível da via pública.

Relativamente ao sistema PEH, este foi considerado pela maior parte dos inquiridos como uma alternativa viável às LRV. Das medidas que teoricamente oferece, as três que conseguiram a preferência dos inquiridos foram respetivamente: a produção de energia renovável, o facto de não danificar o veículo aquando da passagem sobre o sistema e o facto de praticamente não emitir ruído quando os veículos passam sobre os módulos do PEH. No entanto, a redução de velocidade independente do condutor ficou apenas em quarto, o que é curioso, pois anteriormente o excesso de velocidade tinha sido visto como a principal fonte de insegurança rodoviária e a sua redução era tida como uma prioridade. Possivelmente, tal sucedeu-se pelo facto de ser retirado aos condutores inquiridos a tomada de decisão.

Duas das medidas consideradas mais importantes pelos inquiridos foram alvo de ensaios experimentais. No entanto, nos testes de ruído os resultados não corresponderam ao que era expectável. Isto porque de uma maneira geral as LRV foram mais eficazes, produzindo um ruído cerca de 10 % mais baixo do que o do sistema modular PEH. Porém este resultado pode dever-se aos defeitos detetados no sistema PEH durante o ensaio tendo em conta que os testes foram realizados num protótipo e cujo processo de implementação no pavimento ainda está a ser desenvolvido. Com o processo de implementação já aperfeiçoado espera-se que estes resultados vão diferir. Assim sendo, é fortemente aconselhado a realização de um novo ensaio de medição do nível de ruído, quando os problemas dos módulos do protótipo forem resolvidos. É, também importante escolher uma nova localização que proporcione um ambiente mais adequado para a realização dos ensaios.

Já nos testes de impacto, verificou-se que os resultados dos testes de conforto foram favoráveis ao sistema PEH, visto que obtiveram uma melhor classificação segundo a escala da norma ISO 2631-1 (ISO 1997). Porém esta é uma escala de desconforto e não de conforto, o que mostra apenas que o desconforto do sistema PEH é mais tolerável. Ademais, nenhum dos valores atinge a classificação de não desconfortável. Também segundo a limitação a AASHTOO (2010), todos os valores considerados para todos os desnivelamentos verticais foram classificados como desconfortáveis, o que só vem corroborar a classificação da ISO. De facto, o limite da AASHTOO e a mínima classificação da ISO partilham valores muito próximos (0,3 e 0,315 m/s², respetivamente). Isto mostra que, apesar de resultados aparentemente positivos face às LRV, o sistema PEH deve ser melhorado, de maneira a conseguir descer os valores da aceleração vertical para valores que rondem os 0,3 m/s².

Nos testes de diminuição de velocidade, o sistema PEH teve resultados mais eficientes. O desnível do sistema PEH pode ser considerado como variável devido ao facto da tampa se deslocar, sendo que quando atinge o deslocamento máximo descendente, as rodas do veículo ficam ao nível do pavimento, provocando apenas uma desaceleração, visto ser ascendente. Já no caso das LRV, estas apresentam uma curvatura com uma componente ascendente e outra descendente, fazendo com que muitas das vezes a redução de velocidade seja nula, havendo mesmo casos de ganho de velocidade.

É importante referir que o sistema PEH provoca obrigatoriamente uma redução de velocidade através da absorção de energia mecânica do veículo, ao contrário da LRV que induz ao condutor um determinado comportamento. Porém, neste teste de redução de velocidade, em nenhum obstáculo se considerou a análise do comportamento do condutor que poderá ser variável em função de determinadas condições.

Outro fator a ter em conta, como relevante para os resultados obtidos, é o facto do sistema PEH ter sido testado com apenas 4 módulos que perfazem um comprimento paralelo à via de 70 cm quando na verdade este sistema foi idealizado para uma extensão total de 20 m. É, portanto, um sistema desenhado para ir absorvendo gradualmente a velocidade do veículo ao longo de uma extensão bastante superior à

que foi testada. Devido a estes fatores, um novo ensaio de redução de velocidade deve ser realizado no futuro.

5

CONCLUSÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 CONCLUSÕES FINAIS

Para resolver o problema dos acidentes causados maioritariamente pelos excessos de velocidade, as medidas de acalmia de tráfego surgiram como uma proposta de solução.

No entanto, outras medidas inovadoras têm vindo a ser desenvolvidas para fazer face ao contínuo aumento do número de mortes nas estradas, que se tem vindo a acentuar nos últimos anos, sendo os peões os utentes mais afetados.

O sistema nacional modular de *Pavement Energy Harvesting* (PEH) é uma das novas propostas. Este propõe-se a abrandar a velocidade dos veículos, sem a intervenção do condutor, aproveitando a energia mecânica do veículo para produzir energia elétrica. Para além disso pretende fazê-lo com baixos níveis de produção de ruído e sem causar desconforto no condutor. Para perceber a potencialidade deste sistema eletromecânico era necessário compará-lo a uma medida corrente, sendo que a escolhida foi a lomba redutora de velocidade (LRV). Esta comparação foi realizada através de ensaios experimentais.

Para além disso, e para perceber a opinião pública quer acerca do estado atual da segurança rodoviária quer acerca da predisposição do novo sistema, foram realizados inquéritos.

Deste inquérito foi possível tirar várias ilações, através da análise das respostas dos inquiridos. A maior parte dos inquiridos tem noção do problema atual do excesso de velocidade correntemente praticado pelos condutores e as consequências nefastas que isso pode trazer para os peões. Identificam também a necessidade de resolver esse inconveniente. Ademais reconheceram o seu descontentamento com o desconforto e ruído causado pela passagem das lombas. Os principais queixosos são os motociclistas e os condutores de veículos pesados. Por fim, a maior parte dos inquiridos vê o sistema PEH como uma alternativa viável às LRV pelas propriedades que o sistema inovador apresenta. No entanto, é de referir que a amostra dos inquiridos, sendo um número elevado, não é representativa da população portuguesa, pelo menos no que respeita aos utentes peões.

No que diz respeito aos ensaios realizados, no de medição do nível de ruído, verificou-se que as LRV apresentaram valores mais favoráveis. No entanto, o sistema eletromecânico mostrou-se mais eficaz no nos testes de impacto. Pode-se, portanto, concluir que o sistema PEH proporciona um desconforto mais tolerável que o das lombas e é mais eficaz a reduzir a velocidade, apesar das LRV apenas induzirem esse comportamento e não o provocar diretamente.

Contudo, é relevante referir que os ensaios decorreram numa fase de prototipagem do PEH, não estando implementado no local dos ensaios na sua forma final, o que terá influenciado os resultados obtidos. De facto, durante os ensaios de medição de ruído foram identificados alguns defeitos na colocação do protótipo que foram, entretanto, corrigidos. O local de testes também não era o mais apropriado quer

para o ensaio anteriormente referido quer para os testes de impacto (redução de velocidade e desconforto). Tais inconvenientes podem ter influenciado o seu resultado final, sendo que em condições ideais, o resultado poderia diferir.

Dito isto, pode-se concluir que o sistema de *Pavement Energy Harvesting* tem potencial para se tornar numa medida de acalmia de tráfego pertinente. No entanto, para tal acontecer, é necessário a continuidade do seu desenvolvimento bem como a realização de mais testes do tipo dos realizados no âmbito deste estudo.

Caso tal se suceda, não só este sistema se tornará uma alternativa viável às LRV, como pode ser considerado um avanço notável nacional e internacional no campo da segurança rodoviária.

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS

Neste subcapítulo final serão mencionadas sugestões a aplicar no futuro, tendo em conta as várias temáticas que foram abordadas ao longo da realização da dissertação.

Como é óbvio, é expectável que as melhorias ao sistema PEH sejam efetuadas para que corresponda a todas as funcionalidades e propriedades que afirma possuir. No entanto, é fulcral o sistema hidráulico que estava em fase ideia pensada no final da dissertação, seja efetivamente posto em prática, para que a geração de energia elétrica atinja um nível de conversão mais eficaz.

Sugere-se a continuidade da realização dos inquéritos de maneira a atingir o número mínimo de inquiridos que permitam que amostra se torne representativa da população, dando assim mais credibilidade às respostas obtidas. Na perspetiva de melhor explorar e analisar as respostas obtidas neste estudo ou noutro equivalente, torna-se relevante aplicar uma análise estatística mais sofisticada no que toca a relacionar as características dos inquiridos com as respostas obtidas.

Por outro lado, seria interessante a complementaridade dos inquéritos realizados neste trabalho com outro novo, dando ênfase à opinião dos inquiridos sobre o sistema PEH depois de o terem experimentado quer como peões quer como condutores. Sendo um sistema novo, com um impacto relevante na circulação, pois induz a diminuição da velocidade independentemente da decisão do condutor, é fundamental perceber a opinião de uma amostra da população a uma nova experiência de circulação.

No que toca aos ensaios, um novo local deve ser escolhido para a realização dos testes que proporcione melhores condições que o atual. Este local deve ser pavimentado, nivelado e longe de qualquer fonte de ruído que possa perturbar os ensaios. Deve, também, cumprir com todas as distâncias da norma ISO 362-1:2015 (ISO 2015) de maneira a não haver nenhuma superfície ou estrutura perto do centro do ensaio que possa influenciar os resultados. Era útil realizar sempre pelo menos 3 repetições de cada ensaio para despistar valores incoerentes, e ter sempre a possibilidade de visualizar os resultados dos mesmos *in loco*. Deve-se também realizar ensaios com a extensão total idealizada para sistema PEH para se obter resultados o mais representativo possível do sistema tal como será aplicado nas estradas. Havendo a possibilidade, os ensaios de medição de nível de ruído e de impacto devem ser realizados em simultâneo, para aumentar a eficácia dos testes e diminuir o tempo gasto em ensaios.

No futuro, depois do sistema PEH estar finalizado e devidamente testado, será necessário refletir sobre a sua legislação e limitações. Devido à semelhança que este sistema modular partilha com as LRV, determinadas regras destas últimas (ANSR e NFT 2007) podem muito bem ser aplicadas ao sistema, desde que devidamente adaptadas. Também será necessário refletir sobre a sinalização deste sistema, caso venha a ser aplicado, pois é expectável que aconteça um período de adaptação por parte dos utentes da via pública em que terão dificuldades em interpretar esta novidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, American Association of State Highway Transportation Officials. 2010. *Highway Safety Manual*. 1ª Edição ed. Washington, DC.
- Abdel-Aty, Mohamed A, Chris Lee, Juneyoung Park, Jung-Han Wang, Muamer Abuzwidah e Saif Al-Arifi. 2014. *Validation and application of highway safety manual (part D) in Florida*. Florida. Dept. of Transportation.
- Agerholm, Niels, Daniel Knudsen e Kajan Variyeswaran. 2017. "Speed-calming measures and their effect on driving speed – Test of a new technique measuring speeds based on GNSS data". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 46: 263-70. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.022>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847816301309>.
- Ahmad, Z. A. B., K. H. Hui, M. H. Lim e M. S. Leong. 2018. "Building Floor Vibration due to In-Building Speed Bump". *Journal of Performance of Constructed Facilities* 32, no. 4: 04018051 (12 pp.). 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001164. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001164](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001164).
- Albusac, Javier, D. Vallejo, J. J. Castro-Schez e C. Gzlez-Morcillo. 2018. "An expert fuzzy system for improving safety on pedestrian crossings by means of visual feedback". *Control Engineering Practice* 75: 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.03.008>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096706611830039X>.
- Alduán, Alfonso Sanz. 1996. "Calmar el tráfico, serie monografías". *Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades, Madrid*.
- ANSR, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. 2018. *Relatório Sinistralidade Mensal - Vítimas a 24 horas - Novembro 2018*. <http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Pages/default.aspx>.
- . 2019. *Informação Periódica Sinistralidade Rodoviária - Período de 22 a 30 de junho, 2019*. [http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Documents/2019/INFORMA%C3%87%C3%83O%20PERI%C3%93DICA/Per%C3%ADodo%20\(22%20a%2030\)jun.pdf](http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Documents/2019/INFORMA%C3%87%C3%83O%20PERI%C3%93DICA/Per%C3%ADodo%20(22%20a%2030)jun.pdf).
- ANSR, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária e Núcleo de Fiscalização e Trânsito - Unidade de Prevenção Rodoviária NFT. 2007. *Nota Técnica: Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de Velocidade*. <http://www.ansr.pt/SegurancaRodoviaria/InformacaoTecnica/Documents/LRV%20atualizado.pdf>.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. 2004. *O Ruído e a Cidade*. https://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf.
- Badennova, BIV Website Acedido em julho, 2019. <https://badennova.wordpress.com/http://www.badennova.com/>.
- Bastos Silva, AMC e AJM Seco. 2006. "O Uso de Lombas e Plataformas como Medidas de Acalmia de Tráfego". Comunicação apresentada em 4º Congresso Rodoviário Português.
- Behzad, M., M. Hodaie e I. Alimohammadi. 2007. "Experimental and numerical investigation of the effect of a speed bump on car noise emission level". *Applied Acoustics* 68, no. 11: 1346-56. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2006.07.003>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X06001563>.
- Bella, Francesco e Manuel Silvestri. 2015. "Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings". *Accident Analysis & Prevention* 83: 111-24. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.016>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515300257>.
- Bunte, Leslie W. 2000. "Traffic calming programs & emergency response: a competition of two public goods". University of Texas at Austin Austin, TX, USA. http://www.edmecka.com/Forms/tfc_calm.pdf.

- Candeias, Marta. 2018. "Orientações para a preparação de proposta de sucesso". Comunicação. https://www.gppq.fct.pt/h2020/docs/eventos/2657_3_orientacoes_para_a_preparacao_de_propostas_de_sucesso.pdf.
- Carsguide. Acedido em julho 2019. <https://www.carsguide.com.au/car-advice/how-many-ways-can-you-be-booked-in-a-school-zone-59189>.
- CE, Comissão Europeia. 2019. "2018 road safety statistics: what is behind the figures?". Acedido em junho 2019. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-19-1990_en.htm.
- Cellcode. Acedido em julho 2019. <https://cellcode.us/quotes/parking-lot-speed-bumps.html>.
- CM Vila do Conde. Acedido em julho 2019. https://www.cm-viladoconde.pt/frontoffice/pages/655?news_id=4628.
- Cochran, William G. 1977. "Sampling techniques". John Wiley & Sons Inc.
- DDT, Delaware Department of Transportation. 2000. Standards and Regulations for Subdivision Streets and State Highway Access. Delaware, EUA. <http://regulations.delaware.gov/register/july2007/proposed/DelDOT1.pdf>.
- De Pauw, Ellen, Stijn Daniels, Melissa Thierie e Tom Brijs. 2014. "Safety effects of reducing the speed limit from 90km/h to 70km/h". *Accident Analysis & Prevention* 62: 426-31. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.003>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457513001930>.
- DOWL, Empresa americana de Engenharia. 2001. Traffic Calming Protocol Manual Municipality of Anchorage Traffic Department. edição de Municipality of Anchorage Traffic Department MATD. Anchorage, Alasca, EUA. https://www.muni.org/Departments/traffic/Documents/TC_Protocol_Manual_2006.pdf.
- Duarte, Francisco João Anastácio. 2017. "Pavement energy harvesting system to convert vehicles kinetic energy into electricity". Universidade de Coimbra.
- Edeva, Actibump Website Acedido em julho, 2019. <https://www.edeva.se/en/>.
- Elvik, R. e T. Vaa. 2004. *Handbook of Road Safety Measures*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Elvik, Rune. 2013. "A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims". *Accident Analysis & Prevention* 50: 854-60. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.012>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457512002667>.
- EPO, European Patent Office. "Espacenet - Patent search". Acedido em julho, 2019. <https://worldwide.espacenet.com/>.
- ERSO, European Road Safety Observatory. 2019. *Annual Accident Report 2018*. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf.
- ETSC, European Transport Safety Council. 2008. *ShLOW! Show me How Slow - Reducing Excessive and Inappropriate Speed Now: a Toolkit*. Bruxelas.
- Ewing, Reid. 1999. "Traffic Calming State of the Practice Slide Seminar". *Institute of Transportation Engineers. Federal Highway Administration September*.
- Feldman, Mark, Jessica Greig Manzi e Meghan Fehlig Mitman. 2010. "Empirical Bayesian evaluation of safety effects of high-visibility school (yellow) crosswalks in San Francisco, California". *Transportation Research Record* 2198, no. 1: 8-14.
- FHWA, Federal Highway Administration. 2013. "Highway Functional Classification: Concepts, Criteria and Procedures". Última atualização 2013. Acedido em fevereiro 2019. https://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/highway_functional_classifications/fcauab.pdf.
- Fitzpatrick, Kay, Marcus A Brewer e Eun Sug Park. 2010. "Suggestions concerning school traffic control devices". *Transportation Research Record* 2149, no. 1: 1-10.
- Gifford, R. 2004. *Road Humps should be dug up: The Case Against Parliamentary Advisory Council for Transport Safety*. London.
- Gitelman, Victoria, Roby Carmel, Fany Pesahov e Sarit Chen. 2017. "Changes in road-user behaviors following the installation of raised pedestrian crosswalks combined with preceding speed humps, on urban arterials". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*

- 46: 356-72. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.07.007>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136984781630153X>.
- Gopalakrishnan, S. e M. S. Raut. 2019. "Longitudinal wave propagation in one-dimensional waveguides with sinusoidally varying depth". *Journal of Sound and Vibration* 463. 10.1016/j.jsv.2019.114945. <https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072294740&doi=10.1016%2fj.jsv.2019.114945&partnerID=40&md5=0b74bcbd47afb21acc212bd16740539>.
- Graham, John Edward e Adam Talbot Jones. 2019. "A bump in the road: speed bumps' impact on property values". *International Journal of Housing Markets and Analysis* 12, no. 1: 43-58.
- Gross, Frank, Bhagwant Persaud e Craig Lyon. 2010. *A guide to developing quality crash modification factors*.
- Gutierrez, Nicolas, Marla Orenstein, Jill Cooper, Thomas Rice e David R Ragland. 2008. "Pedestrian and bicyclist safety effects of the California Safe Routes to School program".
- Hadayeghi, Alireza, Amer S. Shalaby, Bhagwant N. Persaud e Carl Cheung. 2006. "Temporal transferability and updating of zonal level accident prediction models". *Accident Analysis & Prevention* 38, no. 3: 579-89. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.12.003>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457505002058>.
- Hakkert, AS, V Gitelman e MA Vis. 2007. "Road safety performance indicators: Theory". *Deliverable D3 6*: 164.
- Hughes, Warren, Ram Jagannathan e Frank Gross. 2008. *Two low-cost safety concepts for two-way STOP-controlled, rural intersections on high-speed two-lane, two-way roadways*. United States. Federal Highway Administration.
- Inteligencia Vial, Tope Inteligente Website. Acedido em julho, 2019. <http://inteligenciavial.mx/>.
- IRTAD, International Traffic Safety Data and Analysis Group e Organisation for Economic Co-operation and Development OECD. 2017. *Road Safety Annual Report 2017*. OECD Publishing.
- Islam, Md Tazul e Karim El-Basyouny. 2015. "Full Bayesian evaluation of the safety effects of reducing the posted speed limit in urban residential area". *Accident Analysis & Prevention* 80: 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.026>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515000998>.
- Islam, Md Tazul, Karim El-Basyouny e Shewkar E. Ibrahim. 2014. "The impact of lowered residential speed limits on vehicle speed behavior". *Safety Science* 62: 483-94. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.006>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753513002312>.
- ISO, International Organization for Standardization. 1994. *ISO 7188:1994 Measurement of noise emission by passenger cars under conditions representative of urban driving*. <https://www.iso.org/standard/21249.html>.
- . 1997. *ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements*. <https://www.iso.org/standard/7612.html>.
- . 2015. *ISO 362-1:2015 Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles - Engineering method - Part 1: M and N categories*. <https://www.iso.org/standard/59760.html>.
- Jateikienė, Laura, Tadas Andriejauskas, Ineta Lingytė e Vilma Jasiūnienė. 2016. "Impact Assessment of Speed Calming Measures on Road Safety". *Transportation Research Procedia* 14: 4228-36. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.394>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516304008>.
- Jiang, Yu Bo, Liang Hua Jiang e Ya Qin Qin. 2015. "Effects of Traffic Calming Measures on Vehicle Speed Control and Road Safety". *Applied Mechanics and Materials* 721: 39-42. 10.4028/www.scientific.net/AMM.721.39.
- Jing, Lv, Li Cheng, Guo Hongwei, Wang Wuhong e Jiang Xiaobei. 2018. "Evaluating the effectiveness of speed bumps: an empirical study in campus". Comunicação apresentada em 7th International Conference on Green Intelligent Transportation Systems and Safety, 1-4 July 2016, Singapore, Singapore. 10.1007/978-981-10-3551-7_33. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-3551-7_33.

- Katrakazas, Christos e Claire Quigley. 2017. *CBA: Installation of speed humps*. LOUGH. <https://www.roadsafety-dss.eu/assets/data/pdf/cba/CBA%20speed%20humps.pdf>.
- Kattan, Lina, Richard Tay e Shanti Acharjee. 2011. "Managing speed at school and playground zones". *Accident Analysis & Prevention* 43, no. 5: 1887-91. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.009>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000145751100090X>.
- Khorshid, E., F. Alkalby e H. Kamal. 2007. "Measurement of whole-body vibration exposure from speed control humps". *Journal of Sound and Vibration* 304, no. 3: 640-59. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.03.013>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X07001666>.
- Kockelman, Kara, Jon Bottom, YJ Kweon, J Ma e X Wang. 2006. *Safety impacts and other implications of raised speed limits on high-speed roads*. Vol. 90: Transportation Research Board Washington, DC, USA.
- Kröyer, Höskuldur RG. 2015. "Is 30 km/h 'safe' speed? Injury severity of pedestrians struck by a vehicle and the relation to travel speed and age". *IATSS research* 39, no. 1: 42-50.
- Long, Alexandra Denise, Craig Norman Kloeden, Paul Hutchinson e Jack McLean. 2006. "Reduction of speed limit from 110 km/h to 100 km/h on certain roads in South Australia: a preliminary evaluation".
- MAI, Ministério da Administração Interna. 2003. *Plano Nacional de Prevenção Rodoviária*. <http://www.ansr.pt/SegurancaRodoviaria/PlanosdeSegurancaRodoviaria/Documents/Plano%20Nacional%20de%20Preven%C3%A7%C3%A3o%20Rodovi%C3%A1ria.pdf>.
- Montella, Alfonso, Massimo Aria, Antonio D'Ambrosio, Francesco Galante, Filomena Mauriello e Mariano Perneti. 2011. "Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues". *Accident Analysis & Prevention* 43, no. 6: 2072-84. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.030>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000145751100159X>.
- Mountain, L. J., W. M. Hirst e M. J. Maher. 2005. "Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures?: An evaluation of the relationship between speed and accident reductions". *Accident Analysis & Prevention* 37, no. 4: 731-41. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.014>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457505000515>.
- Movivo, Vivadén Website. Acedido em julho, 2019. <https://movivo.es/>.
- Neves, José Artur. 2018. "Sinistralidade Rodoviária". Comunicação apresentada em Cerimónia Nacional do Dia Mundial das Vítimas da Estrada 2018, Castelo Branco. <https://www.publico.pt/2018/11/18/sociedade/noticia/sinistralidade-rodoviaria-impacto-economico-social-negativo-12-pib-1851543>.
- New Mobility News. Acedido em julho 2019. <https://newmobility.news/2018/08/01/france-twice-as-much-cars-flashed-for-speeding-on-80-kph-roads/>.
- Nicodemus, David A. 1991. "Safe and Effective Roadway Humps: The Seminole County Profile". Comunicação apresentada em INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS MEETING.
- Nilsson, G. 1981. "The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. Proceedings". Comunicação apresentada em International Symposium on the Effects of Speed Limits on Traffic Crashes and Fuel Consumption.
- O'Brien, Sarah Worth e Carrie L. Simpson. 2012. "Use of "Your Speed" Changeable Message Signs in School Zones: Experience from North Carolina Safe Routes to School Program". *Transportation Research Record* 2318, no. 1: 128-36. 10.3141/2318-15. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2318-15>.
- OECD/ECMT, Organisation for Economic Co-operation and Development/European Conference of Ministers of Transport. 2006. *Speed management*. OECD Publishing. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/06speed.pdf>.
- Oh, Jutae, Jungwook Jun, Eungcheol Kim e Myungseob Kim. 2008. *Assessing critical factors associated with bicycle collisions at urban signalized intersections*.

- Olszewski, Piotr, Ilona Buttler, Witold Czajewski, Paweł Dąbkowski, Cezary Kraśkiewicz, Piotr Szagała e Anna Zielińska. 2016. "Pedestrian Safety Assessment with Video Analysis". *Transportation Research Procedia* 14: 2044-53. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.172>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516301739>.
- OMS, Organização Mundial da Saúde. 2018. "Global status report on road safety 2018". Acedido em fevereiro, 2019. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/.
- Park, Eun Sug, Jaebeom Park e Timothy J. Lomax. 2010. "A fully Bayesian multivariate approach to before–after safety evaluation". *Accident Analysis & Prevention* 42, no. 4: 1118-27. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.026>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457509003406>.
- Parker Jr, Martin R e Martin R Parker. 1997. *Effects of raising and lowering speed limits on selected roadway sections*. United States. Federal Highway Administration.
- Pau, Massimiliano. 2002. "Speed bumps may induce improper drivers' behavior: case study in Italy". *Journal of transportation engineering* 128, no. 5: 472-78.
- Pau, Massimiliano e Silvano Angius. 2001. "Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience". *Accident Analysis & Prevention* 33, no. 5: 585-97. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00070-1). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457500000701>.
- Pavegen, Website. Acedido em julho, 2019. <https://pavegen.com/about/>.
- Pordata, Base de Dados do Portugal Contemporâneo. Acedido em julho 2019. <https://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+total+e+por+grandes+grupos+et%C3%A1rios-513>.
- Richter, Elihu D, Tamar Berman, Lee Friedman e Gerald Ben-David. 2006. "Speed, road injury, and public health". *Annu. Rev. Public Health* 27: 125-52.
- Right Driver Mock Theory Tests. Acedido em julho, 2019. <https://mocktheorytest.com/resources/what-are-traffic-calming-measures/>.
- Sadauskas, V. 2007. "Traffic accidents and vehicles speed". Comunicação apresentada em Transport Means 2007. 11th International Conference, 18-19 Oct. 2007, Kaunas, Lithuania.
- Sadauskas, V. e V. Pumputis. 2003. "The influence of vehicles speed on accidents rates". Comunicação apresentada em Transport Means-2003. Proceedings of the International Conference, 23-24 Oct. 2003, Kaunas, Lithuania.
- SCDOT. 2006. Traffic Calming Guidelines. Reducing the speed and volume of traffic to acceptable levels. edição de South Carolina Delaware Department of Transportation. Columbia, EUA. https://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/ref_mats/fhwasa09028/resources/SCDOT%20Traffic%20Calming%20guidelines.pdf.
- Schepers, J. P., P. A. Kroeze, W. Sweers e J. C. Wüst. 2011. "Road factors and bicycle–motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections". *Accident Analysis & Prevention* 43, no. 3: 853-61. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.005>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457510003350>.
- Schlabbach, Klaus. 1997. "Traffic calming in Europe". *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal* 67, no. 7: 38.
- Silva, Ana Bastos e Silvia Santos. 2011. "Medidas individuais aplicadas em atravessamentos de localidades". *Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT), IP. Portugal*. <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Divulgao%20Tcnica/MedidasAcalmiaTrafegoVol1.pdf>.
- Silva, João Pedro da Cruz. 2010. "Modelação e Avaliação do Potencial de Desempenho das Lombas Redutoras de Velocidade".
- Sintimex. Acedido em julho 2019. [https://www.sintimex.pt/pt/lomba-redutora-velocidade-3m-\(5cm-x-50cm-x-90cm\)](https://www.sintimex.pt/pt/lomba-redutora-velocidade-3m-(5cm-x-50cm-x-90cm)).
- Solar Roadways, Website. Acedido em julho, 2019. <http://www.solarroadways.com/Home/Index>.
- SolaRoad, Website. Acedido em julho, 2019. <https://en.solaroad.nl/>.
- Solmove, Website. Acedido em julho, 2019. <https://www.solmove.com/en/technology/>.

- Strawderman, Lesley, Md Mahmudur Rahman, Yunchen Huang e Apurba Nandi. 2015. "Driver behavior and accident frequency in school zones: Assessing the impact of sign saturation". *Accident Analysis & Prevention* 82: 118-25. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.05.026>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515002249>.
- Taylor, Marie C, DA Lynam e A Baruya. 2000. *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. Transport Research Laboratory Crowthorne.
- Total Technical Solutions, Flex-Drempel Website. Acedido em julho, 2019. <https://www.ttsolutions.nl/flex-drempel/>.
- Tranter, Paul Joseph. 2010. "Speed kills: The complex links between transport, lack of time and urban health". *Journal of urban health* 87, no. 2: 155-66.
- Underground Power, Lybra Website. Acedido em julho, 2019. <http://www.upgen.it/en/underground-power-lybra-speed-absorber/>.
- V. Kudryavtsev, Alexander, Odd Nilssen, Johan Lund, AndrejM Grijbovski e Børge Ytterstad. 2012. "Explaining reduction of pedestrian-motor vehicle crashes in Arkhangelsk, Russia, in 2005–2010". *International journal of circumpolar health* 71, no. 1: 19107.
- Watts, G. R. e V. V. Krylov. 2000. "Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions". *Applied Acoustics* 59, no. 3: 221-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(99\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00026-2). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X99000262>.
- Watts, GR. 1973. "Road humps for the control of vehicle speeds". *Verkeerstechnick* 24, no. NLR59 R & D Rpt.
- Wattway, Website. Acedido em julho, 2019. <http://www.wattwaybycolas.com/en/>.
- Weber, Philip A. 1998. "Towards a Canadian standard for the geometric design of speed humps". Carleton University. https://curve.carleton.ca/system/files/etd/eb53e056-8159-4abc-99b7-e9147740a431/etd_pdf/50fcc402a9085979380c3c160e52d572/weber-towardsacanadianstandardforthegeometricdesign.pdf.
- Wolfe, Benjamin, Jonathan Dobres, Ruth Rosenholtz e Bryan Reimer. 2017. "More than the useful field: considering peripheral vision in driving". *Applied ergonomics* 65: 316-25.
- Wysocki, G., B. Ksi e M. Kucz. 2017. "The Influence of a Low Bearing Subgrade on the Stability of a Shared Street (Woonerf) Foundation". Comunicação apresentada em Procedia Engineering. 10.1016/j.proeng.2017.02.147. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016273588&doi=10.1016%2fj.proeng.2017.02.147&partnerID=40&md5=fb2378fc722ae7dc4baf5337f2e92efb>.
- Yang, Qian-Suo, Jun-Hao Song e Guo-Wei Yang. 2016. "A moving model rig with a scale ratio of 1/8 for high speed train aerodynamics". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 152: 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.03.002>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610516301222>.
- Yannis, George, Georgia Louca, Sophia Vardaki e George Kanellaidis. 2013. "Why do drivers exceed speed limits". *European Transport Research Review* 5, no. 3: 165-77.
- Yannis, George, Eleonora Papadimitriou, NTUA Athanasios Theofilatos, Greece Pete Thomas, Ashleigh Filtness, TØI Rune Elvik, Norway Klaus Machata, et al. 2018. "SafetyCube-the European Road Safety Decision Support System". *the Proceedings of the Transport Research Arena, Vienna*.
- Zegeer, Charles V, J Richard Stewart, Herman H Huang e Peter A Lagerwey. 2002. *Safety effects of marked vs. unmarked crosswalks at uncontrolled locations: executive summary and recommended guidelines*. Turner-Fairbank Highway Research Center.
- Zhao, G. e C. Wu. 2012. "Speeding prediction with a mathematical model and its validation". Comunicação apresentada em 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 16-19 Sept. 2012. 10.1109/ITSC.2012.6338612.

ANEXOS

ANEXO A – INQUÉRITO

Inquérito FEUP

No âmbito do desenvolvimento de uma tese de mestrado, em ambiente empresarial, na Pavnext, elaborou-se este inquérito por forma a obter a opinião dos utilizadores de vias de comunicação, referente aos sistemas de segurança das mesmas. Neste âmbito, a empresa, propõe uma nova solução, sobre a qual também queremos a sua opinião.

***Obrigatório**

Sexo *

- ☐ Masculino
☐ Feminino

Situação Profissional *

- ☐ Empregado/a
☐ Desempregado/a
☐ Estudante
☐ Trabalhador/a - Estudante

Habilitações escolares *

- ☐ 4ª classe
☐ 6º ano
☐ 9º ano
☐ 12º ano
☐ Bacharelato
☐ Licenciatura
☐ Mestrado
☐ Doutoramento

Idade *

- ☐ 15
- ☐ 16
- ☐ 17
- ☐ 18
- ☐ 19
- ☐ 20
- ☐ 21
- ☐ 22
- ☐ 23
- ☐ 24
- ☐ 25
- ☐ 26
- ☐ 27
- ☐ 28
- ☐ 29
- ☐ 30
- ☐ 31
- ☐ 32
- ☐ 33
- ☐ 34
- ☐ 35
- ☐ 36
- ☐ 37
- ☐ 38
- ☐ 39
- ☐ 40
- ☐ 41
- ☐ 42
- ☐ 43
- ☐ 44
- ☐ 45
- ☐ 46
- ☐ 47
- ☐ 48
- ☐ 49
- ☐ 50
- ☐ 51
- ☐ 52
- ☐ 53
- ☐ 54
- ☐ 55

- ☐ 56
- ☐ 57
- ☐ 58
- ☐ 59
- ☐ 60
- ☐ 61
- ☐ 62
- ☐ 63
- ☐ 64
- ☐ 65
- ☐ Mais de 65

1-É Condutor?

Tem carta de condução? *

☐ Sim

☐ Não *Passe para "ATENÇÃO: RESPONDA ÀS QUESTÕES NA PERSPECTIVA DO PEÃO, ATÉ AO FIM DO PONTO 2."*

ATENÇÃO: RESPONDA ÀS QUESTÕES NA PERSPECTIVA DO CONDUTOR, ATÉ AO FIM DO PONTO 1



1-Condutor

Até passar a outras questões, por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de CONDUTOR

Anos de Carta de Condução: *

Se conduz à menos de 1 ano coloque a 1ª opção

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10
- ☐ 11
- ☐ 12
- ☐ 13
- ☐ 14
- ☐ 15
- ☐ 16
- ☐ 17
- ☐ 18
- ☐ 19
- ☐ 20
- ☐ 21
- ☐ 22
- ☐ 23
- ☐ 24
- ☐ 25
- ☐ 26
- ☐ 27
- ☐ 28
- ☐ 29
- ☐ 30
- ☐ 31
- ☐ 32
- ☐ 33
- ☐ 34
- ☐ 35
- ☐ 36
- ☐ 37
- ☐ 38
- ☐ 39
- ☐ 40

- ☐ 41
- ☐ 42
- ☐ 43
- ☐ 44
- ☐ 45
- ☐ 46
- ☐ 47
- ☐ 48
- ☐ 49
- ☐ 50
- ☐ 51
- ☐ 52
- ☐ 53
- ☐ 54
- ☐ 55
- ☐ 56
- ☐ 57
- ☐ 58
- ☐ 59
- ☐ 60
- ☐ Mais de 60

Que tipo de veículo conduz com mais regularidade? *

- ☐ Motociclo
- ☐ Ligeiro
- ☐ Pesado
- ☐ Veículo eléctrico pessoal (scooter, trotinete, etc)

Com que frequência conduz o seu veículo de dia? *

- ☐ Diariamente
- ☐ 3 ou mais vezes por semana
- ☐ Entre 1 a 2 vezes por semana
- ☐ Menos de 1 vez por semana

Com que frequência conduz o seu veículo de noite? *

- ☐ Diariamente
- ☐ 3 ou mais vezes por semana
- ☐ Entre 1 a 2 vezes por semana
- ☐ Menos de 1 vez por semana

1-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Até passar a outras questões, por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de CONDUTOR

1.1) Numa escala de 1 a 5 (1 - pouco cuidadoso e 5 - bastante cuidadoso) diga o quão cuidadoso é quando circula perto das passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

1.2) Numa escala de 1 a 5 (1 - nada seguro e 5 – bastante seguro), diga o quão seguro acha que as passadeiras são, para a travessia de peões. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

1.3) Numa escala de 1 a 5 (1 - ineficiente e 5 - bastante eficaz) diga-nos a sua opinião em relação ao grau de eficácia destes sistemas de segurança rodoviária:

As imagens ilustrativas de cada caso, estão disponíveis ABAIXO de cada sistema de segurança

a. Marcadores luminosos da passadeira *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐



b. Lombas *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐



c. Passadeiras Elevadas *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐



d. Radares *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐



e. Semáforos *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐



1-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Até algo ser dito, por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de CONDUTOR

1.4) Numa escala de 1 a 5 (1 – nada desconfortável e 5 – bastante desconfortável) diga-nos o grau de desconforto que sente quando passa numa lomba. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

1.5) Numa escala de 1 a 5 (1 - nada relevante e 5 - muito relevante) diga-nos a sua opinião relativa à necessidade de:

a. Melhorar o sistema de iluminação das passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

b. Implementar novos sistemas que levem à redução da velocidade dos veículos junto às passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

c. Sistemas de alarme sonoro junto às passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

1-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de CONDUTOR

1.6) Na sua opinião qual é o factor que torna as passadeiras perigosas? *

- ☐ a. Velocidade excessiva, por parte dos automobilistas
- ☐ b. Desrespeito pela sinalização luminosa, por parte dos peões
- ☐ c. Infraestruturas desadequadas dos sistemas de segurança actuais (lombas, iluminação, passadeiras etc.)

ATENÇÃO: RESPONDA ÀS QUESTÕES NA PERSPECTIVA DO PEÃO, ATÉ AO FIM DO PONTO 2



2-Peão

A partir de agora, e até passar a outras questões, por favor preencha o Inquérito na perspectiva de PEÃO

Possui algum tipo de dificuldade de mobilidade (não temporária)? *

- ☐ Sim
- ☐ Não

Em que período do dia é mais frequente caminhar? *

- ☐ Dia
- ☐ Noite
- ☐ Igual em ambas os períodos do dia

2-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Até passar a outras questões, por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de PEÃO

2.1) Numa escala de 1 a 5 (1 - quase nunca e 5 - sempre) indique a frequência com que usa a passadeira, para atravessar a estrada? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

2.2) Numa escala de 1 a 5 (1 - nada seguro e 5 – bastante seguro), o quão seguro se sente, ao atravessar numa passadeira? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

2.3) Numa escala de 1 a 5 (1 - nada cuidadosos e 5 - bastante cuidadosos) avalie o cuidado dos condutores, quando se aproximam de uma passadeira? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

2.4) Já assistiu a alguma situação de perigo iminente ou atropelamento junto a uma passadeira? *

- ☐ Sim
- ☐ Não

2.5) Já sofreu algum tipo de acidente, ou esteve em perigo iminente, numa passadeira? *

- ☐ Sim
- ☐ Não

2-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Até algo ser dito, por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de PEÃO

2.6) Numa escala de 1 a 5 (1 - nada relevante e 5 - muito relevante) diga-nos a sua opinião relativa à necessidade de:

a. Melhorar o sistema de iluminação das passadeiras e da sua envolvente. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

b. Implementar novos sistemas que levem à redução da velocidade dos veículos junto às passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

c. Sistemas de alarme sonoro junto às passadeiras. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

2-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de PEÃO

2.7) Na sua opinião qual é o factor que torna as passadeiras perigosas? *

- ☐ d. Velocidade excessiva, por parte dos automobilistas
- ☐ e. Desrespeito pela sinalização luminosa, por parte dos peões
- ☐ f. Infraestruturas desadequadas dos sistemas de segurança actuais (lombas, iluminação, passadeiras etc.)

3-Reside Perto de uma zona de Ruído?

Na sua residência, é afectado/a pelo ruído relacionado com a passagem de veículos sobre as lombas? *

- ☐ Sim
- ☐ Não Passe para "4-Novo sistema de segurança: Pavnext."



ATENÇÃO: RESPONDA ÀS QUESTÕES NA PERSPECTIVA DE MORADOR, ATÉ AO FIM DO PONTO 3



3-Characterização da Residência

A partir de agora, e algo até passar a outras questões, por favor preencha o Inquérito na perspectiva de MORADOR

Como caracterizaria a sua zona de residência? *

- ☐ Zona Urbana /Centro Metropolitano
- ☐ Zona Residencial/Periférica

Em que tipo de residência habita? *

- ☐ Casa
- ☐ Prédio (rés do chão ou 1º andar)
- ☐ Prédio (acima do 1º andar)

3-Estado actual dos sistemas de segurança rodoviários

Continuação - Por favor preencha esta parte do Inquérito, na perspectiva de MORADOR

3.1) Numa escala de 1 a 5 (1 – quase nada e 5 - bastante), diga o quão perturbadores são os ruídos produzidos pela passagem dos veículos numa lomba. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

3.2) Numa escala de 1 a 5 (1 - raramente e 5 - constantemente) diga o quão frequentemente é perturbado pelo ruído causado pela passagem dos veículos numa lomba. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

3.3) Numa escala de 1 a 5 (1 - desnecessário e 5 – bastante necessário) diga-nos a sua opinião em relação à necessidade na adopção de medidas para redução do ruído produzido pela passagem de veículos por lombas. *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4-Novo sistema de segurança: Pavnext

Nesta parte do Inquérito pedimos que assista ao seguinte vídeo de demonstração, de modo a melhor perceber e/ou em que consiste a solução proposta pela Pavnext:

Atente nos seguintes aspetos do vídeo: a redução da VELOCIDADE é INDEPENDENTE da ação do CONDUTOR; as LINHAS AZUIS representam a ENERGIA gerada pelo pavimento.



<http://youtube.com/watch?v=8susjqPM-qY>

4-Novo sistema de segurança: Pavnext

Numa escala de 1 a 5 (1 - insignificante e 5 - bastante importante) avalie a importância de cada uma dos aspectos, trazidos pelo sistema proposto:

4.1) Desaceleração dos veículos sem necessidade de haver intervenção por parte do condutor? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4.2) Produção de energia eléctrica 100% renovável? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4.3) Iluminação do pavimento, para alertar os condutores para a proximidade de uma passadeira? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4.4) Recolha de dados de tráfego que levariam à adopção de medidas de segurança preventivas? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4.5) Implementação de um sistema que, através da absorção do impacto, não danifique o veículo? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4.6) Implementação de um sistema que, através da absorção do impacto, não produza praticamente nenhum ruído ? *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4-Novo sistema de segurança: Pavnext

4.7) Aprovaria a substituição das lombas pelo sistema da Pavnext? *

- ☐ Sim
☐ Não

ANEXOS B – ESPECIFICAÇÕES DOS VEÍCULOS USADOS NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

ANEXO B1 – NISSAN LEAF

AC síncrono (80 kW)			
MOTOR E TRANSMISSÃO		24 kWh	30 kWh
Tipo eléctrico		AC síncrono	
Potência máxima do motor (1)	kw/rpm	80 / 3008-10000	
Binário máximo (1)	Nm	254	
Tipo de energia		Electricidade	
Ignição		Electrónico	
Relação de caixa		Redutor de caixa de 1 velocidade	
Tracção		Dianteira	
BATERIA E RECARGA		Laminada de iões de lítio	
Tipo		360	
Voltagem	V	24 kWh - 48 módulos	30 kWh
Capacidade da bateria	kWh	192	
Número de células		2,3 e 3,6 (Visia e Visia+) / 2,3, 3,6 e 6,6 (Acenta e Tekna)	
Carregador a bordo	kw	50	
Carregador rápido	kw		
CHASSIS		Independente McPherson / Barras de torção	
Suspensão dianteira / traseira		Assistida e eléctrica	
Direcção		Discos dianteiros regenerativos e ventilados / traseiros ventilados	
Sistema de travagem		ESP (de série)	
Sistema de controlo de estabilidade		16" 6.5J / 17" 6.5J	
Jantes		205/55R16 / 215/50R17	
Pneus			
PESOS E DIMENSÕES		1945	1966
Peso bruto	kg	395	
Carga máxima (2)	kg	1516 / 1570	
Peso em vazio mín/máx (2)	kg	1474 / 1548	
Comprimento/ Largura / Altura (máxima)	mm	4445 / 1770 / 1550	
Distância entre eixos	mm	2700	
Capac. bagageira sem bancos rebatidos	l	370 (Visia, Visia+ e Acenta) / 355 (Tekna)	
Via dianteira / Via traseira	mm	1540 / 1535 (16") - 1530 / 1525 (17")	
PERFORMANCE		199	250
Autonomia (NEDC) * (3)	km	15	
Consumo homologado (NEDC) (3)	kWh/100km	144	
Velocidade máxima	km/h	10,4 (16") - 10,8 (17")	
Diâmetro viragem (entre lances)	m		

(1) De acordo com o Regulamento CEPE/ONU nº 85.

(2) Dados de acordo com a Directiva EC: o peso em circulação inclui líquidos de refrigeração, lubrificantes, roda sobressalente e ferramentas.

Não inclui o peso do condutor. A carga útil pode reduzir-se de acordo com os equipamentos opcionais e acessórios instalados.

(3) De acordo com o Regulamento CEPE/ONU nº 101. (O equipamento opcional, a manutenção, a técnica de condução, bem como as condições atmosféricas e do pavimento, podem afectar os resultados oficiais).

* O intervalo de autonomia real oscila entre os 125-200 km com 30 kWh e os 100-160 km com 24 kWh. Sob condições moderadas. A autonomia pode ser condicionada por vários factores como o estilo de condução, o estado do pavimento, temperatura exterior e uso do ar condicionado.



Nissan LEAF MY'16

Especificações Técnicas

Janeiro 2016

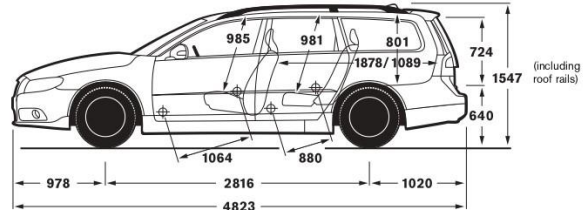
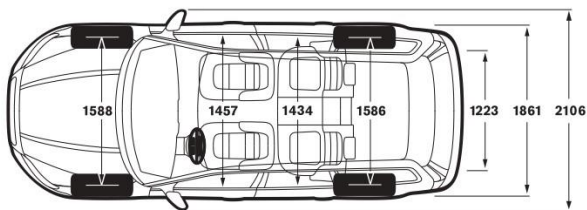


ANEXO B2 – VOLVO V70

ENGINE	2.0 Manual	2.5T	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D	D5	D5 AWD	2.0F Flexifuel Manual	2.5FT Flexifuel
Configuration	Transverse 16 valve	Transverse 20 valve	Transverse 24 valve	Transverse 24 valve	Transverse 16 valve	Transverse 20 valve	Transverse 20 valve	Transverse 20 valve	Transverse 16 valve	Transverse 20 valve
Cylinders	4	5	6	6	4	5	5	5	4	5
Engine capacity, cc	1999	2521	3192	2953	1997	2400	2400	2400	1999	2521
Bore x stroke, mm	87.5 x 83.1	83 x 93.2	84 x 96	82 x 93.2	85 x 88	81 x 93.2	81 x 93.2	81 x 93.2	87.5 x 83.1	83 x 93.2
Max. output ECE, PS kW rpm	145 107 6000	200 147 4800	238 175 6200	285 210 5600	136 100 4000	163 120 4000	185 136 4000	185 136 4000	145 107 6000	200 147 4800
Max. torque ECE, Nm rpm	190 4500	300 1500-4500	320 3200	400 1500-4800	320 2000	340 1750-2750	400 2000-2750	400 2000-2750	190 4500	300 1500-4500
Octane rating	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾	Turbo Diesel	Turbo Diesel	Turbo Diesel	Turbo Diesel	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾ Bio-ethanol (E85)	95 RON unleaded ⁽ⁱ⁾ Bio-ethanol (E85)
Fuel system	Multipoint fuel injection	Multipoint fuel injection	Port fuel injection	Port fuel injection	Common rail direct injection	Common rail direct injection	Common rail direct injection	Common rail direct injection	Multipoint fuel injection	Multipoint fuel injection
Compression ratio	10.8:1	9.0:1	10.8:1	9.3:1	18.5:1	17.3:1	17.3:1	17.3:1	10.8:1	9.0:1

PERFORMANCE	2.0 Manual	2.5T Man	Gt	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D Man	Gt	D5 Man	Gt	D5 AWD Man	Gt	2.0F Flexifuel Manual	2.5FT Flexifuel Man	Gt
Top speed (mph)	124	130	130	146	152	121	130	127	140	134	137	130	124	130	130
Acceleration 0-60 mph (sec)	11.5	7.6	8.0	7.8	6.7	10.9	9.4	10.0	8.4	8.9	8.7	9.3	11.5	7.6	8.0
0-62 mph (0-100 kmh) (sec)	12.1	8.1	8.5	8.4	7.2	11.4	9.9	10.5	8.9	9.4	9.1	9.7	12.1	8.1	8.5
Drag co-efficient	0.31	0.31		0.31	0.31	0.31	0.31		0.31		0.31		0.31		0.31

FUEL CONSUMPTION ^{(ii),(iii)}	2.0 Manual	2.5T Man	Gt	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D Man	Gt	D5 Man	Gt	D5 AWD Man	Gt	2.0F Flexifuel Manual ^(iv)	2.5FT Flexifuel Man ^(iv)	Gt ^(iv)
Urban mpg (l/100 km)	24.1 (11.7)	20.9 (13.5)	18.5 (15.3)	18.3 (15.4)	16.9 (16.7)	37.7 (7.5)	32.8 (8.6)	28.0 (10.1)	32.8 (8.6)	28.0 (10.1)	29.7 (9.5)	25.9 (10.9)	24.1 (11.7)	21.2 (13.3)	18.6 (15.2)
Extra Urban mpg (l/100 km)	40.9 (6.9)	39.2 (7.2)	37.7 (7.5)	36.7 (7.7)	34.9 (8.1)	56.5 (5.0)	49.6 (5.7)	47.1 (6.0)	49.6 (5.7)	47.1 (6.0)	46.3 (6.1)	43.5 (6.5)	40.9 (6.9)	39.2 (7.2)	37.2 (7.6)
Combined mpg (l/100 km)	32.8 (8.6)	29.7 (9.5)	27.2 (10.4)	26.9 (10.5)	25.0 (11.3)	47.9 (5.9)	42.2 (6.7)	37.7 (7.5)	42.2 (6.7)	37.7 (7.5)	38.7 (7.3)	34.9 (8.1)	32.8 (8.6)	30.1 (9.4)	27.2 (10.4)
CO ₂ g/km	206	227	248	251	270	157	178	199	178	199	194	214	206	224	247
VED (Vehicle Excise Duty) Band	F	G	G	G	G	D	E	F	E	F	F	F	F	F	G



LUGGAGE COMPARTMENT	To Glass-line	To Roof
Volume (rear seats up – luggage area) litres (cu.ft)	575 (20.3)	815 (28.8)
Volume (rear seats down) litres (cu.ft)	840 (29.7)	1600 (56.5)

POWER STEERING SYSTEM	All Models
(rack & pinion) Turning circle, m (ft) 225 – 245 (17' – 18') Section Tyres	11.2 – 12.2 (36'7" – 40'0")

	2.0 Manual	2.5T	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D	D5	D5 AWD	2.0F Flexifuel Manual	2.5FT Flexifuel
Brakes	16"	16.5"	16.5"	16.5"	16.5"	16.5"	16.5"	16.5"	16"	16.5"
Disc diameter front, mm	300	316	316	316	300	316	316	316	300	316
Disc diameter rear, mm	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302	Ventilated 302
Transmission	5 speed	6 speed	–	–	6 speed	6 speed	6 speed	6 speed	5 speed	6 speed
Fuel tank volume litres (gallons)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)	70 (15.4)

INSURANCE GROUP	2.0 Manual	2.5T	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D	D5	D5 AWD	2.0F Flexifuel Manual	2.5FT Flexifuel
Volvo V70	13E	16E	17E	18E	13E	14E	15E	15E	13E	16E

E = Exceeds security requirements for model concerned and group rating has been reduced.

WEIGHTS	2.0 Manual	2.5T Man	Gt	3.2 Geartronic	T6 AWD Geartronic	2.0D Manual	2.4D Man	Gt	D5 Man	Gt	D5 AWD Man	Gt	2.0F Flexifuel Manual	2.5FT Flexifuel Man	Gt
Mn. kerb weight, kg (actual kerb weight dependent on spec.)	1638	1731	1747	1786	1883	1730	1757	1774	1757	1774	1836	1854	1638	1731	1747
Max. possible towing weight braked, kg	1320	1800	1800	1800	2000	1500	1800	1800	1800	2000	1800	2000	1320	1800	1800
Max. towing weight unbraked approx. kg ^(*)	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
Max. towball weight, kg	75	75	75	75	90	75	75	75	75	90	75	90	75	75	75
Max. total weight, kg	2180	2260	2280	2310	2410	2270	2300	2310	2300	2310	2370	2390	2180	2260	2280
Max. roof load, kg	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Max. payload, kg (dependent on spec)	542	529	533	524	527	540	543	536	543	536	534	536	542	529	533

- (i) For best performance and lowest fuel consumption 98 RON is recommended, 95 RON can be used for normal driving.
- (ii) The results do not express or imply any guarantee of the fuel consumption of a particular car.
- (iii) Official fuel consumption figures are obtained in accordance with Directive 93/116/EC as amended by 1999/100/EC. The figures are obtained under controlled test conditions and as such consumption achieved on the road will not necessarily accord with the official test results. Factors including driving styles and road, car and weather conditions will also have a bearing on actual fuel consumption achieved.
- (iv) CO₂ and fuel consumption is based on petrol operation.
- (v) Unbraked towing weight must not exceed 50% of kerb weight up to a maximum of 700 kg.

Notes

The weight of the vehicle will influence the level of CO₂ emitted. As a result, vehicles with higher levels of specification and factory fit options may emit higher levels of CO₂. Once a vehicle has been built it will be given its own specific CO₂ emission on which Vehicle Excise Duty will be charged.

A weighbridge must be used to determine specific weights.

Data valid for manual transmission unless specified. Gt = Geartronic Automatic Transmission.

All measurements in mm.

The Max. output figures are quoted in PS (Pferdestärke), which is the metric equivalent of brake horsepower.

NB Some of the information in this price list may not be correct due to product changes which may have occurred since it was printed. Some of the equipment described or shown may now be available only at extra cost. Before ordering, please ask your Volvo dealer for the latest information. The manufacturer reserves the right to make changes at any time, without notice, to prices, colour, materials, specifications and models.

ANEXO B3 – RENAULT CLIO (CARRINHA)

SHOW MORE
IMAGESCOMPARAR COM
OUTRO CARRO

Com consumo médio de 4.5 litros/100km, 0 aos 100 km/h em 12.2 segundos, velocidade máxima de 182 km/h, um peso de 1130 kgs, o Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2 Dynamique está equipado com um motor In-line de 3 cilindros turbo comprimido, a Gasolina.

Este motor produz uma potência máxima de 90 CV às 5250 rotações e um binário máximo de 135 Nm às 2500 rotações. A potência é transmitida à estrada através de uma caixa de velocidades Manual de 5 mudanças, e o tipo de tração é dianteira (FWD).

Quanto às características do chassis, responsáveis pelo comportamento em curva e conforto, o Clio 4 Sport Tourer tem suspensão dianteira do tipo McPherson struts. Coil springs. e suspensão traseira do tipo Coil springs. Torsion bar. As medidas de pneus são 195 / 55 em jantes de 16 polegadas à frente e 185 / 65 em jantes de 15 polegadas atrás. Na travagem, o sistema de travões do Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2 Dynamique tem Discos Ventilados à frente e Tambores na traseira. O modelo Clio 4 Sport Tourer é um carro do tipo Estate produzido pelo fabricante Renault, com 5 portas e 5 lugares, vendido a partir do ano 2013.

Renault Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2
Dynamique Motor Informação Técnica

Motor :	I 3
Código de Motor :	-
Combustível :	Gasolina
Alimentação :	Indirect Injection.
Disposição :	Transversal
Posição do Motor :	Frente
Cilindrada :	898 cm3
Diâmetro x Curso :	72.2 x 73.1 mm
Válvulas :	12 Válvulas
Sobrealimentação :	Turbo + Intercooler
Potência :	90 PS or 89 bhp or 66 kW @ 5250 rpm
Binário :	135 Nm or 99 lb.ft @ 2500 rpm
Tracção :	FWD
Caixa de Velocidades :	5 velocidades Manual ↗

Renault Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2
Dynamique Consumos, Emissões e Autonomia

Consumos - Misto :	4.5 L/100km
Consumos - Extra Urban :	3.9 L/100km
Consumos - Cidade :	5.5 L/100km
Depósito :	45 L
Autonomia :	1000 Km
Emissões de CO2 :	104 g/Km (Renault)

Renault Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2
Dynamique Prestações

Velocidade Máxima :	182 km/h
Aceleração 0 aos 100 km/h :	12.2 s
Aceleração 0 aos 1000m :	33.6 s

Renault Clio 4 Sport Tourer Energy TCe 90 S&S eco2
Dynamique Dimensões, Aerodinâmica e Peso

Tipo de Carroceria :	Estate
Num. de Portas :	5
Distância entre Eixos :	258.9 cm
Comprimento :	426.7 cm
Largura :	173.2 cm
Altura :	144.5 cm
Largura do Eixo Dianteiro :	150.6 cm
Largura do Eixo Traseiro :	150.6 cm
Num. de Lugares :	5
Cx :	-
Travões da Frente :	Discos Ventilados (258 mm)
Travões de Trás :	Tambores (- mm)
Pneus da Frente :	195/55 R16
Pneus de Trás :	185/65 R15
Peso :	1130 kg
Relação Peso/Potência :	12.6 kg/hp
Mala :	443 L
Direcção :	Rack and pinion Electric
Suspensão da Frente :	McPherson struts. Coil springs.
Suspensão de Trás :	Coil springs. Torsion bar.

ANEXOS C – ANÁLISES ANOVA, POR SECÇÃO

ANEXO C1 – SECÇÃO 1: CONDUTORES

Sexo:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.5)c	Entre Grupos	5,679	1	5,679	5,403	,021
	Nos grupos	257,536	245	1,051		
	Total	263,215	246			
1.1)	Entre Grupos	1,085	1	1,085	3,867	,050
	Nos grupos	68,745	245	,281		
	Total	69,830	246			
1.5)a	Entre Grupos	3,335	1	3,335	3,092	,080
	Nos grupos	264,180	245	1,078		
	Total	267,514	246			

Situação Profissional:

Questão 1.4)						
		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
	Entre Grupos	4,733	3	1,578	3,032	,030
	Nos grupos	126,473	243	,520		
	Total	131,206	246			

Habilitações Escolares:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.4)	Entre Grupos	9,496	5	1,899	3,760	,003
	Nos grupos	121,711	241	,505		
	Total	131,206	246			
1.6)	Entre Grupos	29,603	6	4,934	4,854	,000
	Nos grupos	277,508	273	1,017		
	Total	307,111	279			

Idade:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.6)	Entre Grupos	84,411	48	1,759	2,065	,000
	Nos grupos	181,406	213	,852		
	Total	265,817	261			
1.2)	Entre Grupos	45,381	45	1,008	1,537	,025
	Nos grupos	124,007	189	,656		
	Total	169,387	234			

Anos carta condução:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.2)	Entre Grupos	50,848	48	1,059	1,672	,008
	Nos grupos	125,467	198	,634		
	Total	176,316	246			
1.6)	Entre Grupos	24,409	48	,509	1,380	,066
	Nos grupos	72,960	198	,368		
	Total	97,368	246			

Tipo de Veículo:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.3)d	Entre Grupos	6,083	2	3,042	3,829	,023
	Nos grupos	193,852	244	,794		
	Total	199,935	246			
1.3)e	Entre Grupos	2,082	2	1,041	3,665	,027
	Nos grupos	69,287	244	,284		
	Total	71,368	246			
1.4)	Entre Grupos	13,890	2	6,945	14,445	,000
	Nos grupos	117,316	244	,481		
	Total	131,206	246			
1.6)	Entre Grupos	210,161	3	70,054	199,431	,000
	Nos grupos	96,950	276	,351		
	Total	307,111	279			

Frequência de condução durante o dia:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.1)	Entre Grupos	2,054	3	,685	2,454	,064
	Nos grupos	67,776	243	,279		
	Total	69,830	246			
1.5)b	Entre Grupos	4,167	3	1,389	2,222	,086
	Nos grupos	151,874	243	,625		
	Total	156,040	246			
1.6)	Entre Grupos	211,630	4	52,907	152,382	,000
	Nos grupos	95,481	275	,347		
	Total	307,111	279			

Frequência de condução durante a noite:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1.1)	Entre Grupos	2,144	3	,715	2,566	,055
	Nos grupos	67,685	243	,279		
	Total	69,830	246			
1.6)	Entre Grupos	210,807	4	52,702	150,493	,000
	Nos grupos	96,304	275	,350		
	Total	307,111	279			

ANEXO C2 – SECÇÃO 2: PEÕES

Idade:

Questão 2.1)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	21,103	48	,440	1,402	,056
Nos grupos	66,790	213	,314		
Total	87,893	261			

Idade:

Questão 2.2)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	45,581	48	,950	1,584	,015
Nos grupos	127,675	213	,599		
Total	173,256	261			

Habilitações Escolares:

Questão 2.3)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	7,968	6	1,328	1,929	,076
Nos grupos	187,975	273	,689		
Total	195,943	279			

Dificuldade de Mobilidade:

Questão 2.3)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	4,250	1	4,250	6,164	,014
Nos grupos	191,693	278	,690		
Total	195,943	279			

Frequência caminhar (período do dia):

Questão 2.4)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	3,400	2	1,700	7,569	,001
Nos grupos	62,225	277	,225		
Total	65,625	279			

Sexo:

Questão 2.6)a					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	5,168	1	5,168	9,800	,002
Nos grupos	146,603	278	,527		
Total	151,771	279			

Sexo:

Questão 2.6)c					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	15,195	1	15,195	17,899	,000
Nos grupos	236,002	278	,849		
Total	251,196	279			

Situação Profissional:

Questão 2.6)c					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	6,713	3	2,238	2,526	,058
Nos grupos	244,484	276	,886		
Total	251,196	279			

Habilitações Escolares:

Questão 2.7)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	6,656	6	1,109	1,895	,082
Nos grupos	159,769	273	,585		
Total	166,425	279			

ANEXO C3 – SECÇÃO 3: MORADORES

Zona Residencial:

Questão 3.1)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	2,802	1	2,802	6,667	,014
Nos grupos	15,973	38	,420		
Total	18,775	39			

Tipo de Residência:

Questão 3.1)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	2,334	2	1,167	2,627	,086
Nos grupos	16,441	37	,444		
Total	18,775	39			

Situação Profissional:

Questão 3.2)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	5,610	3	1,870	4,991	,005
Nos grupos	13,490	36	,375		
Total	19,100	39			

Habilitações Escolares:

Questão 3.2)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	4,469	5	,894	2,077	,093
Nos grupos	14,631	34	,430		
Total	19,100	39			

Tipo de Residência:

Questão 3.3)					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	5,665	2	2,832	2,734	,078
Nos grupos	38,335	37	1,036		
Total	44,000	39			

ANEXO C4 – SECÇÃO 4: NOVO SISTEMA PEH

Sexo:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
4.2)	Entre Grupos	1,312	1	1,312	2,801	,095
	Nos grupos	130,174	278	,468		
	Total	131,486	279			
4.7)	Entre Grupos	,292	1	,292	2,814	,095
	Nos grupos	28,819	278	,104		
	Total	29,111	279			

Situação Profissional:

Questão		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
4.3)	Entre Grupos	12,479	3	4,160	6,997	,000
	Nos grupos	164,088	276	,595		
	Total	176,568	279			
4.7)	Entre Grupos	1,031	3	,344	3,380	,019
	Nos grupos	28,079	276	,102		
	Total	29,111	279			

Habilitações escolares:

Questão 4.4)						
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.	
Entre Grupos	6,731	6	1,122	1,822	,095	
Nos grupos	168,112	273	,616			
Total	174,843	279				

Idade:

Questão	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
4.6)	Entre Grupos	40,371	48	,841	1,514 ,025
	Nos grupos	118,335	213	,556	
	Total	158,706	261		
4.7)	Entre Grupos	6,429	48	,134	1,365 ,071
	Nos grupos	20,903	213	,098	
	Total	27,332	261		

Residência perto de uma LRV:

Questão	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
4.2)	Entre Grupos	1,315	1	1,315	2,808 ,095
	Nos grupos	130,171	278	,468	
	Total	131,486	279		
4.7)	Entre Grupos	,402	1	,402	3,896 ,049
	Nos grupos	28,708	278	,103	
	Total	29,111	279		

Questão 4.1)					
Características dos Inquiridos	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Tipo de veículo	Entre Grupos	10,234	4	2,558	2,421 ,049
	Nos grupos	290,552	275	1,057	
	Total	300,786	279		
Freq. Cond. Dia	Entre Grupos	10,941	4	2,735	3,458 ,009
	Nos grupos	217,502	275	,791	
	Total	228,443	279		
Freq. Cond. Noite	Entre Grupos	12,748	4	3,187	2,453 ,046
	Nos grupos	357,220	275	1,299	
	Total	369,968	279		

Questão 4.2)						
Características dos Inquiridos		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Freq. Cond. Dia	Entre Grupos	6,143	3	2,048	2,542	,057
	Nos grupos	222,300	276	,805		
	Total	228,443	279			
Freq. Cond. Noite	Entre Grupos	8,329	3	2,776	2,119	,098
	Nos grupos	361,639	276	1,310		
	Total	369,968	279			
Freq. Caminhar (Período do dia)	Entre Grupos	2,840	3	,947	3,137	,026
	Nos grupos	83,271	276	,302		
	Total	86,111	279			

Questão 4.3)						
Características dos Inquiridos		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Freq. Cond. Noite	Entre Grupos	9,389	3	3,130	2,395	,069
	Nos grupos	360,579	276	1,306		
	Total	369,968	279			
Freq. Caminhar (Período do dia)	Entre Grupos	6,989	3	2,330	8,126	,000
	Nos grupos	79,122	276	,287		
	Total	86,111	279			
Tipo de veículo	Entre Grupos	7,850	3	2,617	2,466	,063
	Nos grupos	292,935	276	1,061		
	Total	300,786	279			
Dificuldade Mobilidade	Entre Grupos	1,027	3	,342	4,516	,004
	Nos grupos	20,916	276	,076		
	Total	21,943	279			
Anos de Carta de Condução	Entre Grupos	1843,564	3	614,521	3,050	,029
	Nos grupos	48962,906	243	201,493		
	Total	50806,470	246			

Questão 4.4)						
Características dos Inquiridos		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Freq. Caminhar (Período do dia)	Entre Grupos	4,278	4	1,069	3,594	,007
	Nos grupos	81,833	275	,298		
	Total	86,111	279			
Dificuldade Mobilidade	Entre Grupos	,999	4	,250	3,279	,012
	Nos grupos	20,944	275	,076		
	Total	21,943	279			
Anos de Carta de Condução	Entre Grupos	2279,535	4	569,884	2,842	,025
	Nos grupos	48526,934	242	200,525		
	Total	50806,470	246			
Questão 4.5)						
Características dos Inquiridos		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Freq. Caminhar (Período do dia)	Entre Grupos	2,801	3	,934	3,094	,027
	Nos grupos	83,309	276	,302		
	Total	86,111	279			
Freq. Cond. Dia	Entre Grupos	9,621	3	3,207	4,045	,008
	Nos grupos	218,822	276	,793		
	Total	228,443	279			

Questão 4.6)						
Características dos Inquiridos		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Freq. Caminhar (Período do dia)	Entre Grupos	2,936	4	,734	2,427	,048
	Nos grupos	83,175	275	,302		
	Total	86,111	279			
Anos de Carta de Condução	Entre Grupos	1749,653	4	437,413	2,158	,074
	Nos grupos	49056,817	242	202,714		
	Total	50806,470	246			

Questão 4.7)						
Tipo de veículo						
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.	
Entre Grupos	4,184	1	4,184	3,921	,049	
Nos grupos	296,602	278	1,067			
Total	300,786	279				

ANEXOS D – VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS, POR VEÍCULO

ANEXO D1 – NISSAN LEAF

Obstáculo	V (km/h)	Ensaio	Aceleração (g)					
			Vertical	Média	Long. Neg.	Média	Long. Pos.	Média
LRV - 3cm	20	1	1,4688		0,53516		0,1758	
		2	1,4688	1,449267	0,49219	0,451823	0,1211	0,117197
		3	1,4102		0,32812		0,05469	
	30	1	1,4805		0,41797		0,06641	
		2	1,3672	1,450533	0,37109	0,489583	0,3125	0,216137
		3	1,5039		0,67969		0,2695	
	40	1	1,4688		0,4219		0,2188	
		2	1,5117	1,462233	0,4688	0,503933	0,4141	0,372433
		3	1,4062		0,6211		0,4844	
	50	1	1,6875		0,6328		0,3945	
		2	1,5781	1,6393	0,5742	0,597633	0,4609	0,410133
		3	1,6523		0,5859		0,375	
	60	1	1,6992		0,7383		0,7539	
		2	1,7422	1,6797	0,793	0,699233	0,6719	0,632833
		3	1,5977		0,5664		0,4727	
LRV - 5cm	20	1	1,5664		0,47656		0,2539	
		2	1,5547	1,5625	0,40234	0,404933	0,2109	0,212233
		3	1,5664		0,3359		0,1719	
	30	1	1,5664		0,3555		0,2266	
		2	1,6953	1,585933	0,4102	0,401067	0,3797	0,306267
		3	1,4961		0,4375		0,3125	
	40	1	1,5742		0,63672		0,4492	
		2	1,648	1,635267	0,70703	0,69922	0,6797	0,597667
		3	1,6836		0,75391		0,6641	
	50	1	1,531		0,7461		0,8984	
		2	1,5781	1,5597	0,9884	0,7852	0,8984	0,7708

Sistema PEH	60	3	1,57		0,6211		0,5156	
		1	2,0195		1,0547		0,8867	
		2	1,957	1,9427	0,98828	0,97656	0,9102	0,897133
		3	1,8516		0,8867		0,8945	
	20	1	1,2539		0,2461			
		2	1,234	1,259967	0,2852	0,250033		
		3	1,292		0,2188			
	30	1	1,281		0,33203			
		2	1,4062	1,350167	0,3359	0,309877		
		3	1,3633		0,2617			
	40	1	1,3516		0,3633			
		2	1,3789	1,36915	0,418	0,355475	n.a.	
		3	1,457		0,3633			
		4	1,2891		0,2773			
	50	1	1,3516		0,4453			
		2	1,305	1,299533	0,2695	0,3255		
		3	1,242		0,2617			
	60	1	1,328		0,3203			
		2	1,3281	1,342367	0,7188	0,514333		
		3	1,371		0,5039			

ANEXO D2 – VOLVO V70

Obstáculo	V (km/h)	Ensaio	Aceleração (g)					
			Vertical	Média	Long. Neg.	Média	Long. Pos.	Média
LRV - 3cm	20	1	1,625	1,529 933	0,1562	0,21743 3	0,1758	0,17189 7
		2	1,4609		0,168		0,05469	
		3	1,5039		0,3281		0,2852	
	30	1	1,6827	1,894 233	0,2976	0,32186 7	0,2037	0,42856 7
		2	2,1133		0,3555		0,7109	
		3	1,8867		0,3125		0,3711	
	40	1	1,98	1,774 6	0,4023	0,42576 7	0,3281	0,47396 7
		2	1,7422		0,4297		0,5547	
		3	1,6016		0,4453		0,5391	
	50	1	2,082	1,848 667	0,418	0,4349	0,4844	0,4464
		2	1,816		0,3828		0,3789	
		3	1,648		0,5039		0,4759	
LRV - 5cm	20	1	1,6523	1,812 633	0,4609	0,3906	0,2802	0,30956 7
		2	1,852		0,3164		0,293	
		3	1,9336		0,3945		0,3555	
	30	1	2,7422	2,431	0,8008	0,6888	0,7188	0,69403 3
		2	2,2539		0,4648		0,6953	
		3	2,2969		0,8008		0,668	
	40	1	2,2383	2,291 667	0,4922	0,6784	0,60156	0,57548 7
		2	2,2969		0,6016		0,2108	
		3	2,3398		0,9414		0,9141	
Sistema PEH	20	1	1,3828	1,394 6	0,2266	0,2305	n.a.	
		2	1,367		0,2461			
		3	1,434		0,2188			
	30	1	1,301	0,47266	0,44142			
		2	1,465	0,4297				
		3	1,6016	0,4219				

40	1	1,5977	1,612 067	0,3711	0,39843 3
	2	1,7305		0,4062	
	3	1,508		0,418	
50	1	1,887	1,828 4	0,2266	0,32943 3
	2	1,688		0,3594	
	3	1,9102		0,4023	

ANEXO D3 – RENAULT CLIO (CARRINHA)

Obstáculo	V (km/h)	Ensaio	Aceleração (g)					
			Vertical	Média	Long Neg	Média	Long Pos	Média
LRV - 3cm	20	1	1,6875	1,6484 33	0,46094	0,45052 7	0,1719	0,12890 3
		2	1,6289		0,46484		0,1484	
		3	1,6289		0,4258		0,06641	
	30	1	1,6523	1,6028 67	0,78125	0,59895	0,3633	0,34376 7
		2	1,6094		0,4531		0,2852	
		3	1,5469		0,5625		0,3828	
	40	1	1,7188	1,7356 67	0,6875	0,63151	0,3203	0,36716 7
		2	1,7148		0,64062		0,3945	
		3	1,7734		0,56641		0,3867	
	50	1	1,5078	1,5026	0,5273	0,54946 7	0,3984	0,4297
		2	1,5039		0,6094		0,4805	
		3	1,4961		0,5117		0,4102	
	60	1	1,6133	1,8828 33	0,5977	0,6302	0,5039	0,49476 7
		2	1,8438		0,6445		0,4609	
		3	2,1914		0,6484		0,5195	
LRV - 5cm	20	1	1,6797	1,6523 67	0,52734	0,48304 7	0,08594	0,06119 7
		2	1,6758		0,4023		0,02734	
		3	1,6016		0,5195		0,07031	
	30	1	1,6602	1,7174 67	0,5531	0,63879 7	0,4531	0,47003 3
		2	1,7383		0,68359		0,3906	
		3	1,7539		0,6797		0,5664	
	40	1	1,672	1,8711 33	0,91797	1,01825 7	0,6719	0,85026 7
		2	2,043		1,0391		0,9492	
		3	1,8984		1,0977		0,9297	
	50	1	1,8281	1,9609 33	1,043	1,01173	0,6172	0,58983 3
		2	2,0859		1		0,5742	
		3	1,9688		0,99219		0,5781	

Sistema PEH - meio módulo meio dummy	60	1	2,3281	2,1562 67	1,09	1,0677	1,039	0,9544
		2	2,1719		1,0391		0,9961	
		3	1,9688		1,074		0,8281	
	20	1	1,2539	1,2799 33	0,2617	0,34634		
		2	1,2656		0,39062			
		3	1,3203		0,3867			
	30	1	1,4258	1,3958 33	0,25	0,34636 7		
		2	1,375		0,4414			
		3	1,3867		0,3477			
	40	1	1,4141	1,3828	0,4922	0,47396 7	n.a.	
		2	1,3398		0,4531			
		3	1,3945		0,4766			
	50	1	1,3867	1,3698	0,6094	0,52733 3		
		2	1,375		0,5078			
		3	1,3477		0,4648			
	60	1	1,418	1,3750 33	0,79688	0,64062 7		
		2	1,3516		0,5898			
		3	1,3555		0,5352			