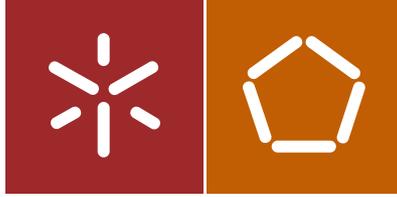




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Emanuel Cunha Soares

Avaliação do Risco para
Peões em Ambiente Urbano



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Emanuel Cunha Soares

Avaliação do Risco para
Peões em Ambiente Urbano

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de
Professora Doutora Elisabete Fraga de Freitas
Professor Doutor Jorge de Almeida Santos
Professora Doutora Sara Ferreira

AGRADECIMENTOS

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação resulta de mais uma colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil e o Laboratório de Visualização e Perceção do Centro de Computação Gráfica da Universidade do Minho. A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem o contributo, impulso e empenho de um conjunto de pessoas. Desta forma, gostaria de expressar toda a minha gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que todo este trabalho tivesse sido desenvolvido. Assim, de forma sincera e particular agradeço,

À Professora Doutora Elisabete Fraga de Freitas, pela sua disponibilidade e prontidão durante todo o projeto, pelo apoio prestado e motivação inculcada, e, principalmente, por todo o conhecimento que me transmitiu.

Ao Professor Doutor Jorge Almeida Santos, por ser o principal responsável pela cooperação entre o Departamento de Engenharia Civil e o Laboratório de Visualização e Perceção do Centro de Computação Gráfica da Universidade do Minho que tornou possível a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Sara Ferreira, pela ajuda prestada na pesquisa bibliográfica e pelas correções sugeridas nos vários tópicos deste documento.

À Doutora Sandra Mouta, por toda a ajuda prestada na preparação da experiência e na análise dos resultados obtidos.

Ao João Lamas e ao Carlos Silva, pelo enorme trabalho desenvolvido na preparação da experiência e por todo o auxílio prestado durante a sua realização.

Aos colegas, aos investigadores do Laboratório de Visualização e Perceção e aos investigadores do Laboratório de Vias de Comunicação, pela colaboração e participação nas tarefas experimentais.

Em especial, aos meus pais, pelo esforço, pelo apoio incondicional, pelo carinho, por tudo o que sempre me transmitiram e por tornarem possível a realização deste meu sonho.

Por último, aos familiares e amigos que, direta ou indiretamente, durante o meu percurso de vida me incentivaram a lutar pelos meus sonhos e nunca não me deixaram desanimar.

AVALIAÇÃO DO RISCO PARA PEÕES EM AMBIENTE URBANO

Resumo

O número de mortes que acontecem nas estradas são um grande problema existente no seio da sociedade global. Com a alteração do paradigma da mobilidade, onde o conceito de mobilidade sustentável ganha ênfase, é dada uma maior relevância aos modos de transporte mais eficientes energética e ambientalmente como é o caso da circulação pedonal e ciclista. Neste contexto é essencial apostar na prevenção de possíveis acidentes resultantes dos conflitos entre estes utilizadores mais vulneráveis da rede viária, peões e ciclistas, e os automóveis.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação tem por objetivo estudar os parâmetros que influenciam o risco de acidentes com peões abordando uma metodologia de análise pouco comum nos estudos existentes neste âmbito, a simulação em ambiente virtual.

Com recurso à apresentação de estímulos auditivos que simulam a circulação de veículos, estudou-se a influência do ruído proveniente do tráfego rodoviário na avaliação do risco e a forma como as variáveis que para ele contribuem (velocidade, tipo de pavimento e tipo de som, real ou virtual) conseguem influenciar a tomada de decisão dos peões numa situação de atravessamento de uma rodovia.

Desta forma verificou-se que o nível de ruído do tráfego rodoviário apresenta grande importância na forma como os peões avaliam uma potencial situação de risco numa passagem para peões, sendo que quanto mais intenso for o ruído do tráfego mais conservadora é a opção tomada pelos peões na generalidade.

Palavras-chave: Risco, Avaliação do Risco, Ambientes Virtuais, Ruído de Tráfego, Segurança para Peões

PEDESTRIANS' RISK EVALUATION IN URBAN ENVIRONMENT

Abstract

The number of deaths that happens in the roads is a serious problem within the global society. By the changing of the mobility paradigm, where the concept of sustainable mobility has gained emphasis, greater relevance to the more efficient transportation modes like the walking and cycling is given. In this context, it is essential to invest in the prevention of potential accidents resulting from conflicts between these most vulnerable roadway users, pedestrians and cyclists, and the others.

The work in this thesis aims to study the parameters that influence the risk of pedestrian accidents by an uncommon method of analysis in what concerns the studies in this area, the simulation in virtual environment.

By the presentation of auditory stimuli which simulate the road traffic, it was studied the influence of the traffic noise in the risk assessment task, as well how the variables that contribute to it (speed, pavement type and type of sound, real or virtual) can influence pedestrians' decision making on a crossing situation.

Through data analysis, it was found that the traffic noise level has a great importance in the mode which pedestrians assess a potentially hazardous situation on a pedestrian crossing. The more intense is the traffic noise, the more conservative is the option taken by pedestrians.

Keywords: Risk, Risk Assessment, Virtual Environments, Traffic Noise, Pedestrian Safety

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organização da dissertação.....	3
2. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO RISCO	5
2.1. Introdução	5
2.2. Conceito de risco	6
2.3. Conceito de exposição	8
2.3.1. A exposição como uma medida	10
2.4. Métodos de avaliação do risco.....	12
2.4.1. Métodos de avaliação qualitativa.....	13
2.4.2. Métodos de avaliação semi-quantitativa.....	13
2.4.3. Métodos de avaliação quantitativa.....	14
2.5. A importância das experiências em ambiente virtual	15
3. O PEÃO COMO UTILIZADOR VULNERÁVEL DA REDE VIÁRIA	19
3.1. Introdução	19
3.2. Caracterização do peão	20
3.2.1. Tipos de peões.....	20
3.2.2. Vulnerabilidade.....	22
3.2.3. Flexibilidade e imprevisibilidade.....	22
3.2.4. Deslocações pedonais	22
3.2.5. Velocidade dos peões.....	23
3.2.6. Outras características	24
3.3. Fatores que influenciam o risco para peões	25
3.3.1. Fatores associados às características dos peões	25
3.3.1.1. Idade	25
3.3.1.2. Sexo	27
3.3.1.3. O quadro social, cultural, económico e educacional	28
3.3.1.4. Deslocação em grupo.....	29

3.3.2. Fatores associados às características do tráfego motorizado.....	31
3.3.2.1. Velocidade dos veículos.....	31
3.3.2.2. Volume de tráfego.....	33
3.3.2.3. Tipo de veículo.....	34
3.3.3. Fatores associados às características da infraestrutura rodoviária e da envolvente física e ambiental.....	34
3.3.3.1. Condições climatéricas	34
3.3.3.2. Condições visibilidade	35
3.3.3.3. As características da estrada e da sua envolvente	36
4. PERCEÇÃO DO RISCO ATRAVÉS DO RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO.....	37
4.1. Considerações gerais	37
4.2. Metodologia experimental.....	39
4.2.1. Protocolo experimental.....	39
4.2.2. Procedimento experimental	47
5. ANÁLISE DE RESULTADOS	49
5.1. Introdução.....	49
5.2. Análise de resultados segundo uma perspetiva psicofísica.....	49
5.2.1. Tempo de passagem do veículo, TTP.....	51
5.2.2. Velocidade	54
5.2.3. Distância	57
5.2.4. Tipo de pavimento e tipo de som	60
5.3. Análise de resultados segundo a influência do ruído rodoviário	62
6. CONCLUSÕES	73
6.1. Conclusões gerais.....	73
6.2. Desenvolvimentos futuros.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um cenário de um ambiente virtual usado num estudo (Schwebel <i>et al.</i> , 2012)	15
Figura 2 - Repartição modal em função da distância da viagem (Pita, 2003).....	19
Figura 3 - Distribuição das velocidades de circulação dos peões (TRB, 2000)	24
Figura 4 - Acidentes com peões por grupo etário num estudo realizado no Bahrain (adaptado de Al-Madani e Al-Janahi (2006)).....	26
Figura 5 - Comparação do número de atravessamentos inseguros entre os diferentes sexos e para várias idades (adaptado de (Simpson <i>et al.</i> , 2003))	27
Figura 6 - Acidentes com peões por nível de formação num estudo realizado no Bahrain (adaptado de Al-Madani e Al-Janahi (2006))	29
Figura 7 - Risco de acidente para peões em função do volume de tráfego pedonal e do volume de tráfego rodoviário (Leden, 2002)	30
Figura 8 - Distâncias de reação, de travagem e de paragem (http:// www.obomcondutor.pt) .	31
Figura 9 - Relação entre as distâncias de reação, de travagem e de paragem com a velocidade de circulação dos veículos (adaptado de IMTT (2010)).	32
Figura 10 - Risco de lesão e de morte para os peões em função da velocidade de impacto (Tefft, 2013)	33
Figura 11 - Evolução da extensão da rede de estradas nacional entre 2009 e 2013 (baseado em dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014)).....	37
Figura 12 - Pavimentos sobre os quais se fez a aquisição dos sons utilizados nos estímulos (Cunha, 2013)	39
Figura 13 - Exemplo da aplicação do método CPB (http://www.mplusp.eu)	40
Figura 14 - Exemplo do posicionamento dos microfones no método da proximidade controlada (Cunha <i>et al.</i> , 2014)	41
Figura 15 - Sonómetro utilizado para calibração dos sons.....	44
Figura 16 - Auscultadores utilizados na apresentação dos estímulos auditivos	45
Figura 17 - Desenho em planta da disposição da passagem para peões implementada	45
Figura 18 - Disposição da passagem para peões após a sua implantação no piso do local onde se realizou a experiência	46
Figura 19 - Imagem projetada no decorrer da experiência.....	46

Figura 20 - Esquema de representação do posicionamento de cada participante durante o decorrer da experiência.....	47
Figura 21 - Percentagem de Atravessamentos por participante, segundo os diferentes TTPs	51
Figura 22 - Percentagem de Não Atravessamentos por participante, segundo os diferentes TTPs	51
Figura 23 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta segundo os diferentes TTPs.....	52
Figura 24 - Relação linear para o aumento da percentagem de atravessamentos segundo o aumento do TTP	53
Figura 25 - Relação linear para o aumento da percentagem de não atravessamentos segundo o aumento do TTP	53
Figura 26 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo as diversas distâncias iniciais para as velocidades de 30 e 50 km/h.....	56
Figura 27 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo cada velocidade	57
Figura 28 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo as diferentes distâncias iniciais.....	59
Figura 29 - Percentagem de atravessamentos por TTP segundo os vários tipos de pavimento estudados	60
Figura 30 - Percentagem de atravessamentos por TTP segundo sons reais e sons virtuais	61
Figura 31 - Comparação do L_{max} entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som.....	62
Figura 32 - Comparação do L_{eq} entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som.....	63
Figura 33 - Comparação do <i>Loudness</i> entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som.....	63
Figura 34 - Percentagem de respostas segundo os diferentes tipos de estímulos auditivos apresentados	64
Figura 35 - Comparação da percentagem de atravessamentos entre estímulos com sons reais e sons virtuais por tipo de estímulo	66
Figura 36 - Comparação da percentagem de não atravessamentos entre estímulos com sons reais e sons virtuais por tipo de estímulo	66
Figura 37 - Comparação do L_{max} entre os sons reais e os sons virtuais	67
Figura 38 - Comparação do L_{eq} entre os sons reais e os sons virtuais	67
Figura 39 - Comparação do <i>Loudness</i> entre os sons reais e os sons virtuais	68

Figura 40 - Comparação de percentagem da globalidade das respostas de cada tipo segundo os diferentes sons.....	68
Figura 41 - Comparação da percentagem de cada tipo de resposta entre estímulos segundo cada um dos tipos de pavimento estudados.....	69
Figura 42 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o nível de pressão sonora equivalente para os sons relativos à velocidade de 30 km/h.....	70
Figura 43 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o nível de pressão sonora equivalente para os sons relativos à velocidade de 50 km/h.....	71
Figura 44 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o <i>Loudness</i> para os sons relativos à velocidade de 30 km/h	71
Figura 45 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o <i>Loudness</i> para os sons relativos à velocidade de 50 km/h	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos indicadores acústicos, L_{\max} e L_{eq} , e psicoacústico, <i>Loudness</i> , dos dois tipos sons com duração de 5 segundos	42
Tabela 2 - Valores do TTP utilizados nos estímulos auditivos	43
Tabela 3 - Percentagens relativas a cada tipo de resposta por cada um dos diferentes tipos de estímulos	50
Tabela 4 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta pelas diferentes velocidades e distâncias iniciais	54
Tabela 5 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta pelas diferentes distâncias iniciais ..	58

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Nos tempos que correm, com uma rede rodoviária praticamente consolidada em todos os países desenvolvidos, existe uma grande preocupação por parte das entidades responsáveis em resolver os sérios problemas relacionados com a falta de segurança rodoviária, tanto ao nível da circulação de veículos como ao nível da mobilidade de peões.

Um outro aspeto importante é que o paradigma da mobilidade está a mudar, principalmente no que diz respeito aos centros urbanos (Fontes *et al.*, 2010). Cada vez mais o conceito de mobilidade sustentável ganha ênfase no seio destes centros, estando a ele associado a oferta de uma maior relevância aos modos de transporte energética e ambientalmente mais eficientes: circulação pedonal e ciclista. Com isto, é essencial apostar na prevenção de possíveis acidentes resultantes dos conflitos entre estes utilizadores mais vulneráveis da rede viária, peões e ciclistas, e os automóveis.

Segundo a Comissão Europeia (2014), 21% de todas as mortes que ocorrem nas estradas são de peões, número este que traduz a relevância deste problema e a prioridade do seu tratamento. Em Portugal, segundo dados fornecidos pela ANSR (2015), no ano de 2014, este número ronda os 17%, sendo este um valor mais baixo do que o da média europeia, mas que mesmo assim não deixa de ser uma percentagem elevada.

É então necessário explorar questões que abordem a segurança dos peões tendo em conta as suas interações com o tráfego automóvel. Com a preocupação de resolver este problema, nos últimos anos foram realizados vários estudos que abordam o comportamento dos peões no atravessamento das estradas. Muitos deles foram desenvolvidos tendo em conta o desenvolvimento de modelos estatísticos (Ferreira e Couto, 2012; Kong e Yang, 2010; Yannis *et al.*, 2007) de risco e outros tendo em conta modelos de microsimulação (STRIDE, 2014; Yang *et al.*, 2006), sendo estas as ferramentas mais utilizadas nos estudos destinados a melhorar a segurança dos peões.

Os fatores de risco associados ao comportamento dos peões identificados na literatura existente sobre o assunto são muito abrangentes, estes incluem as diferentes classes etárias dos peões

(Bart *et al.*, 2006; Liu e Tung, 2014), o ambiente envolvente (Granie *et al.*, 2014), o sexo de cada peão (Ishaque e Noland, 2008), o tipo de pavimento da estrada (Benekos e Toniolos, 2010), os valores pessoais e sociais bem com o perfil socioeconómico de cada um, tanto peões como condutores (Benekos e Toniolos, 2010), as velocidades praticadas pelos condutores, as condições de visibilidade dos condutores e dos peões (Waizman *et al.*, 2014), entre outros.

Contudo, a medição do risco de exposição dos peões a acidentes não é uma tarefa fácil como é referido por Lassarre *et al.* (2007) e o comportamento dos peões precisa de ser melhor estudado, particularmente nos pontos de maior sensibilidade, como são os atravessamentos pedonais nas faixas de circulação do tráfego motorizado. Explicar e prever o comportamento na travessia dos peões é um tema que, apesar de ser importante, é ainda complexo, para o qual a contribuição disponível na literatura está muito limitada, principalmente devido a dificuldades envolvidas na análise e aquisição de uma quantidade considerável de dados e na seleção das técnicas de modelação mais adequadas (Papadimitriou *et al.*, 2010).

A lista de investigações efetuadas sobre a segurança dos peões em ambiente urbano é extensa e varia desde a análise de acidentes e sua modelação para a avaliação de melhoria de segurança para peões. No entanto, não existem muitas tentativas de modelação do comportamento nos atravessamentos pedonais, provavelmente porque este parâmetro está fortemente relacionado com fatores humanos complexos. Ao contrário da modelação do movimento dos veículos, que são distribuídos ao longo de corredores de tráfego rodoviário e que estão sujeitos a regras de tráfego específicas, os fluxos de peões são caracterizados por um significativo grau de aleatoriedade (Yannis *et al.*, 2007).

Nos estudos de avaliação dos fatores de risco associados aos peões é, então, importante que se adotem métodos de análise adequados de modo a que estes fatores sejam avaliados de forma rigorosa e correta. Desta forma, o estudo realizado no âmbito desta dissertação desenvolveu-se com recurso a um ambiente simulado para peões de modo a se identificar e estudar a importância do ruído proveniente do tráfego rodoviário e das variáveis que o influenciam na perceção do risco por parte dos peões numa situação de atravessamento da faixa de rodagem, sendo este um método que, apesar da sua reduzida utilização em estudos deste tipo, apresenta grandes vantagens na recolha de dados em atravessamentos pedonais.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste em fazer uma primeira abordagem à avaliação do risco para peões tendo por base o estudo de parâmetros perceptivos e variáveis associados aos comportamentos dos peões em situações de conflito com o tráfego motorizado.

Neste sentido, este estudo apoiar-se-á em experiências em ambientes simulados de uma passagem para peões onde se analisará a influência de diferentes variáveis no comportamento do peão, como por exemplo a velocidade de circulação dos veículos, o tipo de pavimento, entre outras, tendo em conta apenas o ruído proveniente do tráfego rodoviário.

Com isto, com vistas a um enriquecimento do conhecimento e perspectivas de um desenvolvimento futuro no âmbito da avaliação do risco para peões, os objetivos intermediários desta dissertação assentam na:

- Atualização do estado do conhecimento com o estudo bibliográfico de documentos e investigações efetuadas no âmbito da segurança rodoviária, particularmente na segurança e avaliação do risco para peões;
- Aproximação aos estudos em ambientes virtuais aplicados no seio da temática da segurança rodoviária, principalmente da segurança para peões;
- Análise do comportamento dos peões e determinação e análise de parâmetros que possam influenciar as suas decisões numa situação de conflito referente a um atravessamento pedonal de uma via de tráfego.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, nos quais se inclui o presente capítulo, que tem como objeto o enquadramento do tema, a definição e enumeração dos principais objetivos e a descrição do conteúdo da dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se uma análise dos conceitos presentes na literatura existente inerentes ao risco e sua avaliação, tanto num contexto multidisciplinar como no contexto da segurança rodoviária. Ainda neste capítulo são destacados os diferentes métodos de avaliação do risco

existentes dando uma maior importância ao método de recolha de dados que tem por base a simulação em ambientes virtuais.

No capítulo 3 é feita uma revisão da bibliografia existente que aborda o peão como utilizador vulnerável da rede viária, enumeração e descrição das suas variadas características, bem como dos fatores que influenciam o risco para esses utilizadores das estradas.

Por sua vez, no capítulo 4, é descrita a metodologia e procedimento experimental utilizados para a avaliação da influência do ruído rodoviário na perceção do risco por parte dos peões e da preponderância que cada uma das variáveis tem em tal avaliação.

No penúltimo capítulo, capítulo 5, tal como o seu título indica, são apresentados e analisados todos os resultados de forma a efetuar a avaliação descrita no parágrafo anterior. Esta análise é realizada para a globalidade dos dados e, posteriormente, discriminada por cada uma das variáveis envolvidas no estudo.

No sexto e último capítulo apresentam-se as principais conclusões alcançadas pela realização deste estudo, assim como alguns aspetos que poderiam ser mais aprofundados e objeto de estudos futuros, que poderão ter como base este trabalho.

2. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO RISCO

2.1. Introdução

A análise e avaliação do risco são definidas como tarefas que estão intimamente direcionadas para a gestão eficaz de potenciais oportunidades de acontecimentos que se possam traduzir em efeitos adversos ou indesejáveis (Jamroz *et al.*, 2014; WRA, 2004). Estas tarefas constituem uma parte integral daquilo que é o processo geral de gestão do risco. Contudo, preliminarmente às tarefas de análise e avaliação do risco é necessário que haja uma identificação dos riscos de modo a que estes possam depois ser analisados e avaliados. Nesta tarefa é importante que se procure uma resposta às seguintes questões (WRA, 2004):

- O que é que pode acontecer?
- E como é que tal pode acontecer?

Identificados os presumíveis riscos, é então necessário determinar a probabilidade de ocorrência desses acontecimentos indesejáveis, ou seja, é necessário estimar um nível de risco associado a cada um desses acontecimentos (HSE, 2014). É aqui que começa a avaliação do risco, que consiste num processo sistemático de determinação e quantificação dos riscos associados a eventos/acometimentos ou mesmo ações perigosas (Merkhofer, 1993).

Avaliar e estimar os riscos é importante para determinar os pontos onde se deve atuar de forma a se mitigar a probabilidade de ocorrência das situações referidas anteriormente, aumentando o nível de segurança e diminuindo o nível de risco. No âmbito da segurança rodoviária, a avaliação de riscos compõe, assim, a base de uma gestão eficaz da segurança e é fundamental para reduzir o número de acidentes rodoviários.

Quando qualquer utilizador da rede viária se desloca, existe sempre a probabilidade de se envolver num acidente. Esta probabilidade depende de muitos fatores, como as características da deslocação, características do tráfego rodoviário, a configuração da estrada, as características da envolvente física e ambiental e, os mais preponderantes, os fatores humanos (Stipdonk, 2013).

Contudo, no geral, o processo de avaliação do risco não é geralmente uma tarefa fácil. Na base deste processo estão muitos conceitos que não são ainda muito consensuais na literatura existente (Hopkin, 2014). O mesmo pode ser dito sobre a avaliação de risco para peões, que, para além do grande número existente e complexidade de fatores que podem influenciar o risco para peões em ambiente rodoviário, existem várias técnicas que possam ser aplicadas em estudos neste âmbito, dependendo dos seus autores e das próprias variáveis em estudo, o que pode justificar o facto da reduzida existência de estudos de avaliação do risco para peões.

2.2. Conceito de risco

O conceito de risco é utilizado em muitos campos de estudo, contudo, mesmo que a palavra usada seja a mesma, o seu significado pode diferir nas várias disciplinas (Beer e Ziolkowski, 1995). Na literatura existente sobre as disciplinas de gestão, análise e avaliação do risco existem diferentes definições do conceito de risco, pois na vida comum, o risco é usado como um conceito muito amplo, que inclui tanto as probabilidades de um evento indesejado bem as consequências deste evento (Khatoon *et al.*, 2013). Contudo, a maioria das definições deste conceito tem por base o princípio de que o risco consiste na possibilidade de ocorrência de uma situação indesejável.

No âmbito do projeto de engenharia, Cooper e Chapman (1987) definem risco como a exposição à possibilidade de perda ou ganho, dano físico ou lesão, ou de atraso, como consequência de uma incerteza associada à procura de um determinado rumo para uma dada ação.

Segundo Anthony Brown (1998), risco é a possibilidade de que um determinado perigo produza efeitos prejudiciais no que os seres humanos valorizam, sendo função da probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e dos seus respetivos danos. Nesta definição do conceito de risco está implícito um outro conceito importante no que diz respeito à tarefa de avaliação do risco: o perigo. Este mesmo autor define perigo como o potencial de causar danos àquilo apresenta valor para os seres humanos.

Por sua vez, Hopkin (2014) refere que a definição risco usada pelos profissionais de saúde e de segurança consiste numa combinação da probabilidade de ocorrência de um determinado evento e da magnitude/severidade das suas possíveis consequências, sendo esta uma definição

bastante semelhante à apresentada na norma NP4397:2008 onde se expressa que risco compreende a combinação da probabilidade de ocorrência de um acontecimento ou de exposição perigosa e da gravidade (severidade) de lesões ou afeções de saúde que possam ser causadas pelo acontecimento ou pela exposição, o que pode ser traduzido pela seguinte expressão (Arezes, 2002):

$$\text{RISCO} = \text{GRAVIDADE DOS EFEITOS} \times \text{PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA} \quad (1)$$

Arezes (2002), citando Beer e Ziolkowski (1995), sugere que se no caso do risco de exposição em análise for relativo a agentes físicos, a metodologia mais corrente para se avaliar os efeitos dessa exposição é a análise do perigo originado por essa mesma exposição. Pelo que o risco pode ser definido da seguinte forma:

$$\text{RISCO} = \text{EXPOSIÇÃO} \times \text{EFEITOS} \quad (2)$$

Já no âmbito da segurança rodoviária, Elvik (2015) refere que o risco pode ser definido como a proporção de eventos que resulta em acidente, em que cada evento pode ser interpretado como um julgamento. Para este autor, este evento/julgamento ou conjunto deles pode ser definido como a exposição ao risco, o que no fundo se aproxima da definição apresentada por Cooper e Chapman (1987) num âmbito diferente. Estes eventos exigem a atenção dos utentes da estrada, que por sua vez implica que estes aprendam com a exposição repetida a esses eventos.

Na literatura analisada sobre a avaliação do risco no âmbito do ambiente rodoviário e pedonal, o conceito de exposição assume uma grande importância, sendo este conceito aquele que permite ser avaliado e, assim, posteriormente, possibilita que se determine o nível de risco associado a uma dada atividade e/ou conflito.

O conceito de risco é utilizado como uma forma de quantificar o nível de segurança rodoviária, em relação ao nível de exposição. Como tal, os estudos sobre a avaliação e quantificação do risco são realizados para calcular a probabilidade de um determinado acidente ocorrer (Hakkert *et al.*, 2002; Hauer, 1982).

2.3. Conceito de exposição

Como anteriormente referido, a exposição ao risco é um conceito chave nos estudos de segurança rodoviária e nos últimos tempos a sua definição tem sido abordada por vários autores (Elvik, 2015; Lassarre *et al.*, 2007; Paefgen *et al.*, 2014). Esta definição tem evoluído com o passar dos anos como se pode notar nos parágrafos seguintes. Há autores que utilizam o termo “potencial de acidente” em detrimento do termo “exposição”, contudo, como é explicado por Elvik (2014), eles apresentam o mesmo significado.

Segundo Chapman (1973), a exposição ao risco é definida como o número de oportunidades de ocorrência de acidentes de um certo tipo num dado tempo e numa respetiva área. Este mesmo autor refere que essas oportunidades incluem as ultrapassagens de veículos, a circulação dos veículos em segmentos curvos e também o facto de dois ou mais veículos circularem na proximidade uns dos outros. Estudando a relação entre a exposição e os acidentes, como colisões frontais, traseiras e em interseções, sugeriu que uma contagem do número de conflitos, que, citando Moniz (2007), consistem nos pontos onde diferentes correntes de tráfego rodoviário e/ou pedonal se cruzam, convergem ou divergem, pode servir como uma medida da exposição.

Então, tendo por base que o número de conflitos pode servir de medida da exposição, R. J. Brown (1981) definiu o potencial de acidente de um cruzamento com base nos pontos de conflito entre os movimentos do tráfego que passam em cada interseção desse tipo. Com base numa pequena amostra de interseções em Joanesburgo e Pretória, Brown estimou as taxas de acidentes por milhão de conflitos para os vários tipos de conflitos, descobrindo que alguns tipos de conflito estão associados a taxas de sinistralidade mais elevadas do que outros.

Hauer (1982) discutiu a relação entre o número de conflitos do tráfego rodoviário e a exposição e argumenta que os dois conceitos são distintos, embora, algumas definições de exposição e conflitos do tráfego possam ser semelhantes, como a definição apresentada por Brown. A exposição pode ser então definida como um julgamento com dois resultados possíveis: ocorrência de acidente ou a não ocorrência de acidente. Este julgamento terá, geralmente, uma curta duração.

Wolfe (1982) definiu exposição como uma medida da frequência de estar numa dada situação no tráfego, cujo número pode ser utilizado como o denominador de uma fração que tem como numerador o número de acidentes que ocorrem nessa mesma situação, produzindo, assim, uma taxa de incidência ou de risco de estar num acidente aquando nessa situação, o que pode ser traduzido pela seguinte expressão:

$$\text{RISCO} = \frac{\text{NÚMERO DE ACIDENTES}}{\text{EXPOSIÇÃO}} \quad (3)$$

Muitos estudos sobre o conceito de exposição, principalmente os mais antigos (Chipman, 1982; Foldvary, 1975; Jovanis e Chang, 1986; Wolfe, 1982), relacionam a sua medida com o número de quilómetros percorridos por um dado veículo numa dada viagem, admitindo que quanto maior esta distância, maior será o grau de exposição ao risco de acidente.

Num estudo elaborado por Stipdonk (2013) utilizou-se a distância percorrida pelos condutores como uma medida de exposição e calculou-se o grau de risco dividindo o número de acidentes fatais pela distância total percorrida por todos os tipos de veículos. No entanto, o autor refere que essa medida de exposição pode não ser suficiente, devendo ser diferenciada pelos vários modos de transporte existentes e, mais especificamente, consoante cada classe etária, uma vez que o nível de risco é diferente consoante os modos de transporte e a idade dos utilizadores da rodovia, não devendo ser generalizado.

Contudo, a distância percorrida pelos veículos não é uma medida homogénea da exposição. As viagens ou deslocações feitas à noite, quando a visibilidade é mais reduzida, envolvem um grau de risco diferente daquelas realizadas durante o dia. Da mesma forma, as deslocações em áreas urbanas acarretam riscos diferentes do que os das deslocações em áreas rurais devido principalmente aos volumes de tráfego existentes nos dois tipos de áreas, entre outros tipos de fatores que implicam estas diferenças (Paefgen *et al.*, 2014).

Num estudo mais recente que abrange este conceito, no âmbito da temática da segurança rodoviária, Elvik (2015) refere: “A exposição é a ocorrência de qualquer evento no tráfego rodoviário, limitado no espaço e no tempo, que representa um potencial de um acidente ocorrer (...). Estes eventos têm duração e extensão espacial limitada. O seu início e fim podem ser

definidos com precisão suficiente para permitir que as ocorrências sejam contadas.” Exemplos destes eventos são:

- Encontros de veículos ou utentes da estrada que circulam em direções opostas sem barreira física a separá-los;
- Chegadas simultâneas a pontos onde possam surgir conflitos entre os vários tipos de utentes, como por exemplo cruzamentos ou passagens para peões;
- Movimentos conflituantes entre utentes da estrada que não chegam, necessariamente, ao mesmo tempo;
- Mudança da via de tráfego e ultrapassagens;
- Outros tipos de eventos, como um animal que circule na faixa de rodagem, ou um evento meteorológico.

2.3.1. A exposição como uma medida

No contexto da avaliação do risco é importante definir e seleccionar a forma correta para medir a exposição (Hakkert *et al.*, 2002). Todavia, segundo Wolfe (1982), existe uma grande controvérsia sobre quais as medidas de exposição mais apropriados para usar e sobre a forma como os dados sobre a exposição devem ser recolhidos para os vários problemas inerentes à segurança rodoviária. Para este autor, os dados sobre a exposição ao risco mais facilmente obtidos raramente são os mais desejáveis para o desenvolvimento de índices ou taxas de acidentes.

Para Chapman (1973) existem duas formas de medir a exposição ao risco de acidente na rede de tráfego rodoviário. Uma delas consiste em procurar determinar os níveis de exposição e de acidente para o utente da via considerando que este se move ao longo do sistema viário, a outra forma consiste em determinar os referidos níveis para determinados locais onde utentes da estrada vão passando. A primeira forma de medição da exposição ao risco corresponde à forma mais adequada quando se quer avaliar o risco de acidente no sistema viário por completo ou em determinados trechos deste. Porém, a segunda forma, que consiste numa medição pontual, torna-se mais adequada para a avaliação do risco de acidente em determinados pontos onde existe um considerável número de conflitos (Wolfe, 1982). Para a medição da exposição considerando o sistema viário no seu todo ou apenas um ou vários trechos deste, é importante a recolha de dados, como por exemplo a duração das viagens, o número de viagens e número de cruzamentos. Já para o segundo tipo, além de contagens de tráfego, é importante um

levantamento e contagem do número de conflitos, assim como os débitos dos movimentos associados a esses conflitos.

Num estudo realizado por Elvik *et al.* (2009) é referido que nos estudos de segurança rodoviária as medidas de exposição mais utilizadas são a distância percorrida pelos veículos e o número de veículos que abordam uma determinada intersecção, isto porque é para estas zonas que recaem a maior parte destes estudos devido ao maior número de conflitos nelas existente (Lassarre *et al.*, 2007). De forma bastante semelhante, na medição da exposição ao risco por parte dos peões nos locais de maiores conflitos, os atravessamentos, deve ser considerado o número de peões que atravessam a estrada e, também, o volume de tráfego que solicita a respetiva estrada (Hakkert *et al.*, 2002; Lassarre *et al.*, 2007).

Porém, estas medidas são normalmente tratadas como medidas simplificadas, no sentido de que apenas os seus valores totais ou valores médios, como por exemplo o tráfego médio diário anual (TMDA), são utilizados na análise, o que pode levar a alguns erros e, posteriormente, a uma errada estimativa do risco (Elvik *et al.*, 2009).

Com a utilização apenas das referidas variáveis, despreza-se uma quantidade de variáveis com grande influência na exposição ao risco, como a luminosidade, as condições meteorológicas, as condições de visibilidade, as velocidades praticadas, bem como as características físicas e comportamentais dos diversos utilizadores das vias.

Uma parte importante no processo de avaliação da exposição ao risco em ambiente rodoviário é a obtenção de dados, contudo esta parte do processo pode constituir um sério problema, visto que muitas vezes a recolha de dados pode tornar-se dispendiosa tanto ao nível do tempo como dos recursos financeiros e/ou técnicos que na maioria das vezes são limitados (Wolfe, 1982).

Segundo um documento elaborado pelo STRIDE (2014), existem três técnicas de recolha de dados distintas: recolha de dados por observação, recolha de dados através de veículos instrumentados e recolha de dados em ambiente simulado.

A primeira técnica referida consiste na recolha de dados empíricos sobre as características dos peões, o tipo de veículos, características geométricas da estrada, entre outras. Além disso, permite também reter dados qualitativos, como o comportamento dos peões e dos veículos. Esta

técnica pode ser aplicada através da observação humana direta nos locais de interesse para o estudo, o que requer um maior número de recursos humanos, ou então através da colocação de câmaras de vídeo nos locais indicados que gravarão todos os movimentos e outros acontecimentos que posteriormente serão analisados.

A técnica de recolha de dados através de um veículo instrumentado permite uma avaliação quantitativa da performance do condutor. Com esta técnica é possível obter dados importantes como a estratégia de condução e as tomadas de decisão em situações particulares que se pretendam estudar. Contudo, esta técnica apenas permite uma recolha de dados sobre os veículos e condutores, o que é insuficiente nos estudos sobre a segurança para peões.

A recolha de dados em ambientes simulados permite uma recolha de dados bastante semelhante à da primeira técnica, contudo, esta avaliação tem a vantagem da não existência do risco real de acidente, o que, negativamente, pode também influenciar a tomada de decisão e comportamento dos indivíduos envolvidos no estudo.

Adicionalmente à recolha de dados, Wolfe (1982) refere que devem ser realizados inquéritos por forma a complementar os dados obtidos pelos processos descritos anteriormente, principalmente o tipo de dados que se referem aos comportamentos.

Com todos os dados obtidos é importante que se faça um tratamento estatístico cuidado, analisando a sua representatividade e com eles definir regressões que melhor se ajustem no corelacionamento das diferentes variáveis analisadas com a exposição como uma medida probabilística (Al-Madani e Al-Janahi, 2006; Keall, 1995; Tiwari *et al.*, 2007).

2.4. Métodos de avaliação do risco

A avaliação do risco não é uma ciência exata (Vinnem, 2014), pelo que o risco associado a uma dada atividade ou evento pode ser estimado através de diferentes métodos.

Segundo a WRA (2004), a avaliação do risco pode ser realizada tendo em vista vários graus de refinamento, dependendo das informações e dados disponíveis. Nesse mesmo estudo é ainda referido que essa avaliação pode ser qualitativa, semi-quantitativa ou quantitativa, ou até uma combinação dessas metodologias, onde a complexidade vai aumentando pela ordem pela qual

foram referidas. Os métodos qualitativos de avaliação do risco são, em grande parte, utilizados numa primeira fase de forma a se obter estimativas e comparações rápidas dos riscos. Porém, os riscos que exigem um maior cuidado de análise devem ser posteriormente avaliados quantitativamente.

2.4.1. Métodos de avaliação qualitativa

Os métodos de avaliação qualitativa do risco consistem na realização de exames sistemáticos com vista à identificação de situações capazes de provocar a ocorrência de eventos indesejáveis (Carvalho, 2007).

Este tipo de métodos descreve os perigos sem os quantificar e permite determinar quais as medidas de segurança possíveis a se adotar, isto é, possibilita que se identifiquem quais as conjunções de acontecimentos que podem gerar uma situação perigosa e quais as formas de evitar que ocorram (Carneiro, 2011).

De acordo com Carvalho (2007), “com os métodos de avaliação qualitativa recorre-se a uma avaliação de cenários individuais, estimando os diferentes riscos na base da resposta a questões do tipo o que acontecerá se...? ”, nestes métodos de avaliação do risco não existe qualquer registo numérico e, como anteriormente referido, este tipo de métodos é apropriado para avaliar situações simples, nas quais os perigos possam ser facilmente identificados através da observação.

2.4.2. Métodos de avaliação semi-quantitativa

De acordo com Carneiro (2011), a aplicação dos métodos de avaliação semi-quantitativa consiste em atribuir pesos a situações de risco identificadas e posteriormente estabelecer planos de atuação com vista à mitigação dessas situações.

Os métodos de avaliação semi-quantitativa são utilizados quando se considera que a avaliação realizada pelos métodos qualitativos é insuficiente para alcançar uma estimativa adequada do risco e a complexidade implícita aos métodos de avaliação quantitativa não justifica o seu uso (Carvalho, 2007).

No âmbito da segurança rodoviária este tipo de métodos não tem aplicabilidade, no entanto, é recorrente serem utilizados em estudos sobre segurança no trabalho e no âmbito de atividades empresariais (Carneiro, 2011; Carvalho, 2007).

2.4.3. Métodos de avaliação quantitativa

Para Carvalho (2007), as avaliações quantitativas envolvem a determinação objetiva dos diferentes elementos do risco. Este tipo de métodos quantifica o que pode acontecer, atribuindo um valor à probabilidade de uma dada ocorrência e à severidade dos seus efeitos, com recurso a técnicas sofisticadas de cálculo (Cabral, 2010; Carneiro, 2011).

Carvalho (2007) acrescenta ainda que neste tipo de métodos, esta quantificação numérica de um determinado risco através da sua probabilidade de ocorrência, as técnicas de cálculo devem integrar dados sobre o comportamento das variáveis sobre as quais se debruça a análise. Estas técnicas baseiam-se principalmente na construção de um modelo matemático, onde é atribuído um valor numérico às diversas variáveis que causam ou agravam o risco, bem como àquelas que aumentam a segurança, permitindo assim estimar um valor numérico para o risco (Carneiro, 2011).

Este tipo de métodos é bastante utilizado em casos mais complexos de avaliação do risco, onde as consequências possam ser muito graves, sendo assim utilizado na avaliação do risco em segurança rodoviária.

No que diz respeito à avaliação do risco para peões, diferentes técnicas de avaliação quantitativa do risco são abordadas com o intuito de determinar quais os fatores que mais pesam e mais agravam os níveis de risco relativamente a estes utilizadores da rede viária. Os modelos matemáticos mais utilizados são:

- Regressão Linear (Yannis *et al.*, 2007);
- Regressão Logística Multinomial (Papadimitriou, 2012; Papadimitriou *et al.*, 2010; STRIDE, 2014; Yannis *et al.*, 2007);
- Regressão Logística Binária (Khatoon *et al.*, 2013; Liu e Tung, 2014; Pawar e Patil, 2014; STRIDE, 2014);
- Regressão Lognormal (Serag, 2010; Yannis *et al.*, 2013);

- Regressão Logística Multivariada (Schwebel *et al.*, 2012);
- Regressão Binomial Negativa (Elvik *et al.*, 2013; Hamed, 2001);
- Entre outros, como por exemplo a Distribuição de Poisson e outros tipos de Regressão Logística (Granie *et al.*, 2014; Lassarre *et al.*, 2007; Stipdonk, 2013; STRIDE, 2014).

2.5. A importância das experiências em ambiente virtual

Atualmente, a recolha de dados através de experiências em ambiente virtual tem sido muito utilizada em diversas áreas devido à possibilidade de uma obtenção de dados desprovidos de qualquer tipo de risco para a saúde ou integridade física dos participantes, visto que estes não estão efetuam nenhuma tarefa real que possa proporcionar a ocorrência de algum tipo de acidente. No entanto, esta técnica ainda não é predominante nos estudos no âmbito da segurança para peões, apesar das suas vantagens (Dommès e Cavallo, 2011; Lubbe e Rosén, 2014; Oxley *et al.*, 2005; Schwebel *et al.*, 2008; Schwebel *et al.*, 2012; Seward *et al.*, 2007; Simpson *et al.*, 2003; STRIDE, 2014).



Figura 1 - Exemplo de um cenário de um ambiente virtual usado num estudo (Schwebel *et al.*, 2012)

Mesmo sendo a recolha de dados por observação direta uma técnica mais realista, onde os dados obtidos correspondem a situações puramente reais e de acontecimento espontâneo, este tipo de técnica de recolha de dados não permite o controlo experimental de vários aspetos relativos aos atravessamentos pedonais. Contrariamente, a técnica de recolha de dados através de ambientes

virtuais permite, como por exemplo o controlo das velocidades dos veículos, dos volumes de tráfego e das distâncias entre veículos sucessivos, bem como dos aspetos geométricos de toda a envolvente física. Assim, nos estudos sobre segurança e comportamentos dos peões em atravessamentos viários, este aspeto torna-se um muito importante, pelo facto de permitir o estudo particular das variáveis de interesse (Simpson *et al.*, 2003).

A recolha de dados através de experiências em ambiente virtual, no que concerne a estudos da segurança e avaliação de risco para peões em ambiente rodoviário, consiste em instruir cada participante, de uma série de número previamente definido, a realizar um atravessamento quando lhes parecer seguro efetuar tal tarefa.

Em cada experiência, o participante está situado em frente dos monitores de um simulador virtual, devendo estes últimos serem capazes de cobrir a maior parte do ângulo de visão dos participantes. As características da estrada e do tráfego serão de forma prévia desenhadas e manipuladas de forma a se construir o cenário virtual para, posteriormente, se analisar o efeito dos diferentes parâmetros no comportamento dos peões (participantes) avaliando os dados provenientes opções tomadas por estes.

De forma semelhante à recolha de dados por observação direta, nas experiências em ambiente virtual é também possível avaliar o impacto das características dos peões na sua segurança (Dommès e Cavallo, 2011; Schwebel *et al.*, 2012; Simpson *et al.*, 2003; STRIDE, 2014).

Este tipo de experiências destina-se principalmente ao estudo dos fatores e comportamentos humanos dentro do âmbito referido no parágrafo anterior. Para tal, dependendo do que se pretende estudar, são utilizadas medidas de desempenho que tornam mais fácil a avaliação de determinados fatores. No caso dos estudos em ambientes virtuais sobre a segurança para peões, as medidas de desempenho mais utilizadas são: o *time-to-collision* ou *time-to-contact* (TTC), o *time-to-passage* (TTP) e o *time-to-arrival* (TTA) (Dommès e Cavallo, 2011; Lubbe e Rosén, 2014; Oxley *et al.*, 2005; Savino, 2009; Schwebel *et al.*, 2008; Seward *et al.*, 2007; Simpson *et al.*, 2003).

O TTC corresponde ao tempo que seria necessário para um veículo colidir com outro, ou com um peão, se as velocidades e acelerações de todos os intervenientes na colisão fossem “congeladas” no tempo. Este tempo é matematicamente definido como a distância entre os

veículos, ou entre o veículo e o peão, dividido pela diferença de velocidade entre ambos os intervenientes (Lubbe e Rosén, 2014; Savino, 2009; Seward *et al.*, 2007). O TTP consiste no tempo de passagem de um veículo tendo como referência um determinado ponto ou o peão, já o TTA consiste no tempo que um veículo demora a chegar ao ponto onde se encontra um objeto ou peão imóvel (Lubbe e Rosén, 2014; Simpson *et al.*, 2003).

Importa referir que estas medidas são, na maioria das vezes, predefinidas por forma a se avaliar a importância das variáveis ligadas ao tráfego rodoviário e de fatores psicofísicos associados aos comportamentos dos peões. Contudo, há estudos em que os peões têm a tarefa de estimar estas medidas, com o propósito de avaliar qual a sua perceção da aproximação dos veículos a várias distâncias e velocidades (Dommès e Cavallo, 2011; Simpson *et al.*, 2003).

Desta forma, existem diversas técnicas aplicadas na execução deste tipo de experiências relativas aos estudos sobre o tema da segurança para peões, entre as quais se destacam:

- A tarefa de oclusão, que consiste na interrupção, a partir de um determinado momento ou distância, do estímulo visual e/ou auditivo apresentado, tendo cada participante que tomar uma decisão segundo essas condições (Seward *et al.*, 2007);
- A apresentação contínua do estímulo sobre o qual é apresentado um sinal ou um intervalo de tempo para os participantes darem a sua resposta (Oxley *et al.*, 2005; Schwebel *et al.*, 2008; Simpson *et al.*, 2003);
- A tarefa de julgamento relativo, no qual, após a apresentação sequencial de dois ou mais estímulos, os indivíduos distinguem qual o que lhes parece chegar primeiro às suas posições (Seward *et al.*, 2007);
- A tarefa de *gap acceptance*, que consiste na apresentação de uma sequência de estímulos, com intervalos definidos pela velocidade e/ou distância contínua entre eles e onde os participantes têm de identificar intervalos de tempo aceitáveis para efetuar o atravessamento (Oxley *et al.*, 2005; Simpson *et al.*, 2003).

3. O PEÃO COMO UTILIZADOR VULNERÁVEL DA REDE VIÁRIA

3.1. Introdução

Com o conceito da mobilidade sustentável cada vez mais em voga, o tráfego pedonal tem aumentando a sua importância, principalmente nos grandes centros urbanos. Existe, atualmente, uma grande procura por parte das autoridades responsáveis e competentes em aumentar o nível de atividade pedonal e assim reduzir a tendência de crescimento do uso do automóvel, diminuindo os congestionamentos de tráfego e impactos ambientais, sendo estes dois grandes problemas dos centros urbanos. Andar a pé, para a realização de exercício físico ou como um modo alternativo de transporte, é, então, um modo de transporte promovido no seio da sociedade atual (Ulfarsson *et al.*, 2010). Além disso, nos grandes centros urbanos, caminhar é o modo de transporte mais presente, ajudando na ligação ou transferência entre outros modos de transporte, principalmente em curtas distâncias, como se pode verificar na figura 2, onde para distâncias até cerca de 1 km o modo de transporte pedonal apresenta uma taxa de utilização superior a 50%. Sendo uma opção mais saudável, é o modo de transporte que melhor se enquadra com o meio ambiente e social (Gupta e Pundir, 2015).

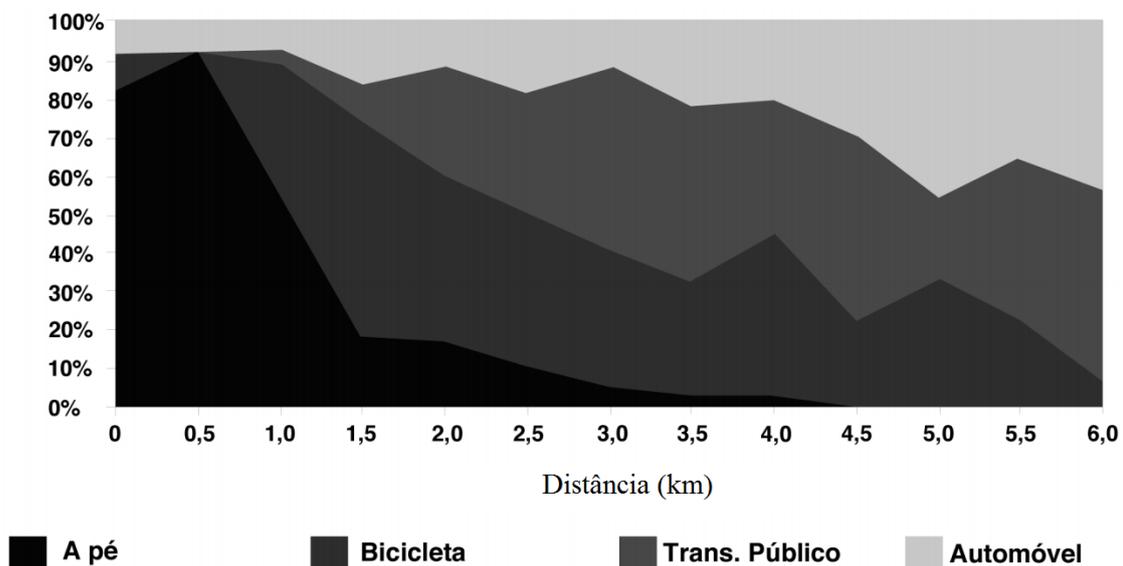


Figura 2 - Repartição modal em função da distância da viagem (Pita, 2003)

O movimento dos peões depende de algumas variáveis, como a sua atitude e comportamento e, também, das suas interações com o ambiente envolvente (Gupta e Pundir, 2015). Por sua vez, e como foi já referido, a interação entre veículos e peões é um dos problemas com maior relevo

na segurança rodoviária. Desta interação tem resultado um número significativo de acidentes fatais, sendo os atravessamentos a componente de maior preocupação ao nível da segurança (Coelho, 2011).

Para se estudar o peão é então necessário considerar as suas características, tanto físicas como psicológicas. Contudo, só isso não é suficiente. A segurança dos peões não depende exclusivamente só deles, devido ao facto de estes serem utilizadores vulneráveis da rede viária, isto é, de não apresentarem proteção contra qualquer impacto que contra eles possa surgir. É necessário ter também em consideração outros fatores subjacentes a outros tipos de utilizadores e mesmo às características da infraestrutura viária (Gupta e Pundir, 2015; Roess *et al.*, 2004).

3.2. Caracterização do peão

A caracterização do peão não é uma tarefa simples e trivial, muito pelo contrário. Não existe um padrão que permita caracterizar os peões de forma exata e clara. O comportamento do peão é uma incógnita. Os trajetos dos peões podem ser delineados e ser restringidos os seus movimentos, mas a sua atitude e comportamento serão sempre aleatórios (Coelho, 2011; Lima, 2014).

Porém, de forma simplificada os peões devem ser caracterizados pelo seu tipo, vulnerabilidade, flexibilidade e imprevisibilidade, pelas suas deslocações, velocidade, entre outros parâmetros (Seco *et al.*, 2008).

3.2.1. Tipos de peões

“Os peões não são um grupo homogéneo, existindo pessoas cujos atributos físicos e psicológicos alteram o modo como se deslocam, orientam e avaliam os riscos, tornando-os particularmente vulneráveis em termos de segurança” (Seco *et al.*, 2008).

Segundo Seco *et al.* (2008), existem três grupos especiais de peões: as crianças, os idosos e os peões com mobilidade reduzida. Os constituintes destes grupos devem ser estudados e considerados de uma forma mais cuidada devido ao facto de não terem o mesmo comportamento e modo de mobilidade e deslocação dos peões “ditos normais”, acarretando

maiores limitações no que concerne à sua integração no ambiente rodoviário, necessitando assim de medidas especiais de proteção e segurança.

Ainda citando os mesmos autores, no que diz respeito às crianças, as suas capacidades cognitivas e sensoriais só se aproximam das capacidades dos adultos por volta dos 11 anos, sendo que até essa idade elas não são capazes de enfrentar a complexidade do tráfego rodoviário sem ajuda. Este grupo de peões não tem a total capacidade de usar a informação proveniente das impressões visuais e auditivas, o que leva à necessidade de um maior tempo de reação do que um adulto e à deficiente avaliação da velocidade e da distância dos veículos que se aproximam. Os seus níveis de concentração são também bastante mais reduzidos do que os níveis de concentração dos adultos, distraíndo-se e tomando comportamentos imprevisíveis. Uma outra característica importante deste tipo de peões é a sua baixa estatura, o que constitui um problema principalmente no que diz respeito à visibilidade devido ao facto de serem facilmente escondidas por obstáculos.

Quanto aos idosos, *Seco et al.* (2008) referem que estes se caracterizam essencialmente pela perda de capacidades físicas, associadas ao processo de envelhecimento. Por sua vez, esta perda das capacidades físicas traduz-se numa menor capacidade de locomoção, tornando as movimentações mais lentas, reduzindo os reflexos e levando a uma necessidade de maiores tempos de reação e decisão. A perda destas capacidades aliada tanto à redução das capacidades auditivas e visuais, como à perda de memória e das capacidades de raciocínio, dificulta a compreensão do ambiente rodoviário por parte dos peões desta classe etária.

Para o grupo dos peões de mobilidade reduzida, onde se inserem não só as pessoas que possuem deficiências físicas, mentais ou sensoriais, mas também todos os que, por alguma razão, têm dificuldade em se movimentar, *Seco et al.* (2008) referem que é importante considerar que a sua velocidade de marcha é inferior à velocidade das pessoas sem qualquer deficiência, assim como a falta de visão e/ou de audição limitam a capacidade de perceção da envolvente por parte de alguns peões deste tipo.

3.2.2. Vulnerabilidade

Como já referido, as lesões e a perda de vidas causadas pelos acidentes rodoviários são um sério problema no contexto atual. De qualquer colisão entre veículos e peões, mesmo quando as velocidades são reduzidas, o peão, sendo um ser bastante vulnerável a impactos físicos, é quase sempre o que sofre maiores danos (Semião, 2008).

Esta vulnerabilidade torna-se mais acentuada em zonas urbanas. Devido a um maior tráfego, quer pedonal quer motorizado, o número de acidentes registados nestas áreas é bastante mais considerável do que noutras (ANSR, 2013). Porém, este facto depende muito de outros aspetos como por exemplo a hora do dia, o estado de conservação das infraestruturas rodoviárias e suas características, as condições climatéricas, a idade dos indivíduos, velocidades praticadas, a envolvente ambiental e o comportamento dos diversos utilizadores do sistema viário, como referido anteriormente (Lima, 2014; Semião, 2008).

3.2.3. Flexibilidade e imprevisibilidade

A forma simplificada como os peões são capazes de alterar a sua marcha, no que diz respeito à direção, sentido ou velocidade, garante-lhes uma grande liberdade de movimentos, sendo estes capazes de se deslocar muito facilmente, adaptando-se a qualquer percurso (Semião, 2008).

Esta facilidade de movimentação, apesar de ser uma grande vantagem do modo de transporte pedonal, é também considerada um grande problema do ponto de vista da segurança rodoviária devido à imprevisibilidade de reações, comportamentos e diferentes formas de tomada de decisão (Coelho, 2011; Lima, 2014).

3.2.4. Deslocações pedonais

Segundo Fruin (1971), Pita (2003) e Lima (2014) as características das deslocações pedonais estão intimamente relacionadas com os seguintes aspetos:

- Motivo da viagem – A realização de uma viagem pedonal está inteiramente condicionada pela decisão de cada indivíduo. Lima (2014) sublinha que o “motivo da viagem determina a regularidade, o percurso escolhido e a facilidade com que o peão pode alterar a viagem”. Estando de certa forma o motivo da viagem estritamente ligado aos comportamentos tomados

por cada peão, como por exemplo um peão que se desloque por lazer, à partida fará uma viagem mais calma do que um seu homólogo que se desloca apressadamente para o seu local de trabalho.

- Condição psicomotora do peão – Como é óbvio, a condição psicomotora do peão condiciona claramente a forma como o peão se desloca. Um peão jovem adulto à partida desloca-se de forma mais rápida do que um peão idoso e do que um peão com mobilidade reduzida. Este aspeto, por sua vez, relaciona-se com o tipo de peão, a sua idade e a sua condição física.

- Características do percurso e sua envolvente – As características das infraestruturas viárias existentes e da sua envolvente influenciam de forma clara as deslocações pedonais. Dessas características sobressaem a distância a percorrer, a paisagem, a tipologia do terreno, os conflitos com o tráfego rodoviário, a proteção relativamente às condições atmosféricas e a segurança pessoal dedicada pelos percursos. Juntando a isso, as atividades no espaço envolvente ao percurso são também um aspeto de grande influência sobre as deslocações pedonais. Um peão sente-se atraído para caminhar quando existem boas condições para tal, sentindo-se confortável e seguro.

Por outro lado, a distância que o peão está disposto a percorrer varia em função de todas as características e aspetos referidos, principalmente, do motivo da viagem e das condições psicomotoras do peão (Lima, 2014).

3.2.5. Velocidade dos peões

Segundo Seco *et al.* (2008) com base nos manuais AUSTROADS (1988) e TRB (2000), um peão a caminhar livremente atinge uma velocidade que varia desde um mínimo de 0,75 m/s até um máximo de cerca de 2,4 m/s, devendo ser considerado o valor de 1,2 m/s como a velocidade média.

Na figura 3 apresenta-se a distribuição de velocidades de circulação de peões medida em dois locais distintos da cidade de Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, na qual se baseia a consideração apresentada pelo *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000).

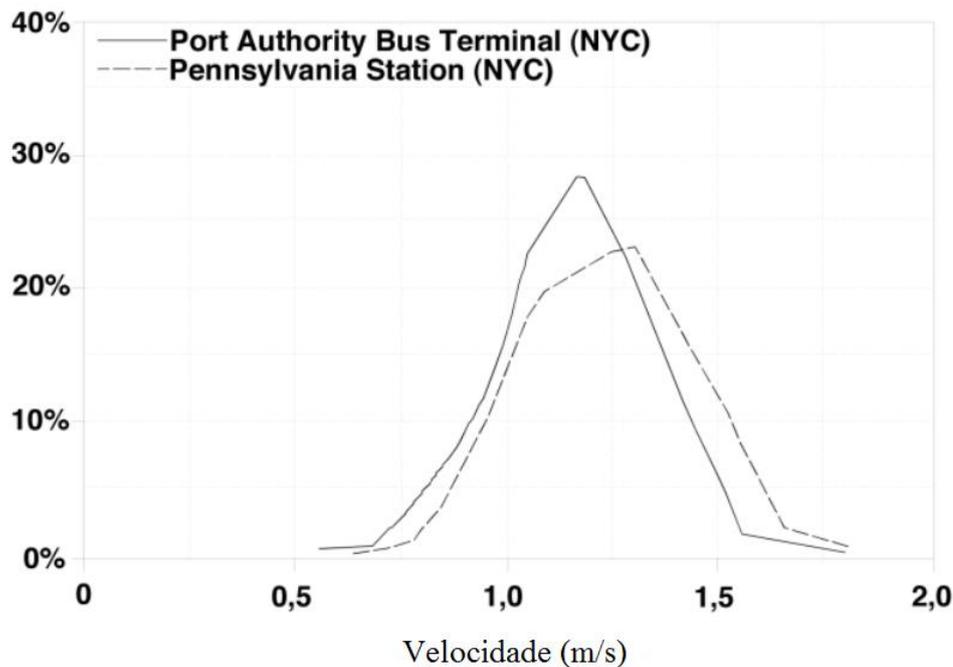


Figura 3 - Distribuição das velocidades de circulação dos peões (TRB, 2000)

Como se verifica, a maioria dos peões que se movimentam em ambos os locais, que por sinal correspondem a locais de transferência modal, desloca-se a velocidades superiores a 1 m/s e inferiores a 1,5 m/s, sendo que, em valor aproximado, a velocidade mais vezes praticada corresponde a 1,2 m/s, que consiste na velocidade média de circulação pedonal que deve ser considerada, segundo os manuais já referidos.

3.2.6. Outras características

Para caracterizar o movimento dos peões é normal recorrer-se também à medição de outras grandezas como o débito pedonal, a concentração e a área disponível para a movimentação pedonal, assim como as suas relações (Seco *et al.*, 2008; TRB, 2000). Contudo, o estudo e aplicação destas grandezas aplica-se mais ao caso do dimensionamento da infraestrutura pedonal e não tanto aos estudos de segurança para peões, pelo que estas grandezas não serão aqui abordadas por não se inserirem no âmbito do tema desta dissertação.

3.3. Fatores que influenciam o risco para peões

Ultimamente, muitos estudos têm sido desenvolvidos sobre a segurança dos peões. A grande parte deles dirige-se mais ao comportamento dos peões e menos a outros fatores que ameaçam a sua segurança nos atravessamentos pedonais ou nas suas imediações. Diferentes técnicas para estudar os fatores com maior influência no risco para peões em situações de atravessamento têm sido utilizadas, porém, todas elas produzem resultados semelhantes (Martin, 2006).

Ao atravessar a estrada, os peões podem comportar-se de inúmeras formas devido à sua grande liberdade de movimentos e tomada de decisões. Desta forma, a seguir é feita uma revisão dos vários fatores estudados e considerados importantes no âmbito da segurança dos peões, tanto ao nível das suas características como ao nível da envolvente ambiental e rodoviária.

3.3.1. Fatores associados às características dos peões

3.3.1.1. Idade

A idade é uma das características dos peões mais importantes, pois associados a ela estão diversos comportamentos que influenciam o risco dos peões. Por este motivo, esta variável é abordada na maioria dos estudos de segurança rodoviária.

Segundo Martin (2006), os peões mais velhos tendem a escolher atravessamentos mais seguros, como é o caso dos atravessamentos semaforizados, respeitando todas as regras a eles implícitas. O mesmo não acontece com uma percentagem significativa de jovens, que estão mais propensos a desrespeitar as leis do Código da Estrada e a realizar os atravessamentos em zonas não demarcadas (Daff *et al.*, 1991; Gårder, 1989; Martin, 2006; Preston, 1989).

Num outro estudo que teve por base a observação de acontecimentos reais para analisar acidentes com peões no Bahrain, Al-Madani e Al-Janahi (2006) concluem que as crianças com idade inferior a 12 anos estão mais envolvidas em acidentes do que qualquer outro grupo etário, como se pode verificar na figura 4.

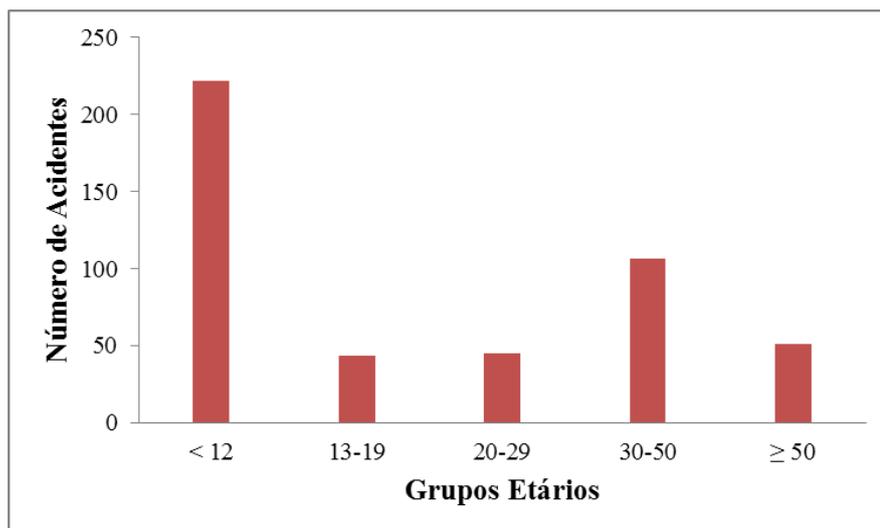


Figura 4 - Acidentes com peões por grupo etário num estudo realizado no Bahrain (adaptado de Al-Madani e Al-Janahi (2006))

Estes autores justificam que o elevado envolvimento das crianças em acidentes pode ser explicado pela sua errada perceção dos riscos devido à sua falta de experiência e concentração durante as travessias da estrada. Acrescentam ainda que a pequena estatura física associada ao grupo etário em questão torna mais difíceis as reações dos condutores por causarem muitas vezes dificuldades na sua própria visualização. Esta conclusão vai de encontro com o que é referido por Martin (2006) e citado anteriormente.

Além disso, no mesmo estudo, Al-Madani e Al-Janahi (2006) referem que os peões adultos, devido à sua melhor perceção do risco e da sua capacidade física para reagir a situações adversas, e idosos, devido à vasta experiência estão menos envolvidos em acidentes. Contudo, as capacidades motoras, de visão e de audição vão-se deteriorando com o aumento da idade, o que faz com que os idosos encontrem maiores dificuldades em receber a informação adequada no momento adequado, apesar da sua experiência.

Simpson *et al.* (2003) mostram que 12% dos acidentes com peões na Nova Zelândia envolvem idosos, e justificam este número com considerações idênticas às já apresentadas. No mesmo sentido, Dommès e Cavallo (2011) mencionam que a maior vulnerabilidade dos peões idosos pode ser justificada com o facto de estes não terem a mesma perceção da velocidade e aproximação dos veículos do que os peões mais novos.

Concluindo, na literatura revista é clara uma diferenciação de dois grupos de risco tendo em conta a classe etária dos peões, eles são: crianças e idosos.

3.3.1.2. Sexo

Em 2013, em Portugal foram registados 5499 acidentes envolvendo peões. De acordo com estatísticas da ANSR (2013), 3010, aproximadamente 55%, destes acidentes vitimaram peões do sexo masculino e os restantes 2488, aproximadamente 45%, vitimaram peões do sexo feminino. Um estudo realizado nos Estados Unidos demonstrou que as mortes de peões do sexo masculino representavam cerca de 70% do número total de mortes deste tipo de utilizadores, com uma taxa de mortalidade de 2,19 mortes por 100.000 habitantes, em comparação com uma taxa de mortalidade feminina de 0,91 por 100.000 (Clifton e Livi, 2005; WHO, 2013). Num outro estudo, realizado no México, verificou-se que a taxa de mortalidade dos peões é maior entre os homens, 10,6 por 100.000 habitantes, do que entre as mulheres, 4 por 100.000 (Hí *et al.*, 2001; WHO, 2013).

Contrariamente ao que ditam as estatísticas, num estudo em ambiente virtual, Simpson *et al.* (2003), concluíram que os peões femininos apresentam uma menor sensibilidade na avaliação das condições de atravessamento, principalmente na avaliação da velocidade e da distância dos veículos e que os peões masculinos, geralmente, assumem riscos menores devido a uma maior sensibilidade nas avaliações dessas variáveis. Esta conclusão foi tirada depois da verificação de que os peões executavam um maior número de atravessamentos inseguros (figura 5).

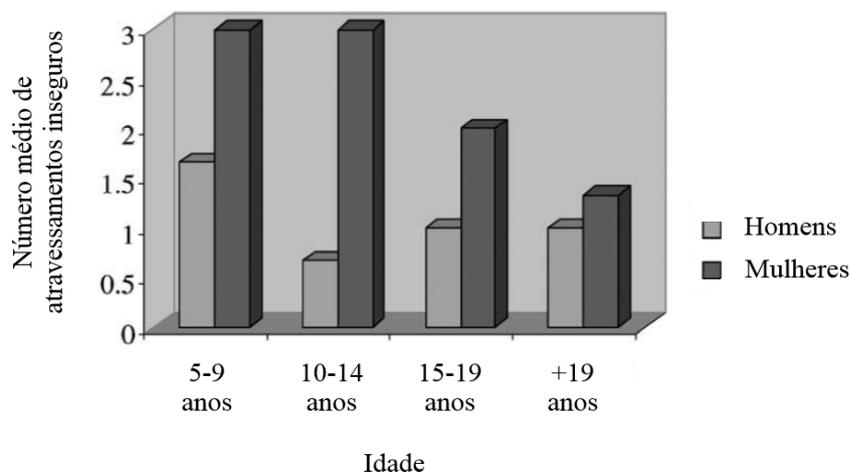


Figura 5 - Comparação do número de atravessamentos inseguros entre os diferentes sexos e para várias idades (adaptado de (Simpson *et al.*, 2003))

Ulfarsson *et al.* (2010) encontraram um importante peso desta variável quando a implementaram num modelo de regressão multinomial logística para analisar as causas dos acidentes rodoviários, determinando que os peões do sexo masculino tomam comportamentos mais arriscados.

Concluindo, o sexo dos peões, tal como a idade, tem sido uma variável bastante abordada nos estudos sobre o comportamento dos peões. Com base nas estatísticas de acidentes rodoviários da ANSR (2013) e em todos os outros estudos mencionados neste tópico, nota-se que esta variável possa ter um peso significativo na avaliação das situações de risco por parte dos peões, o que pode levar à tomada de diferentes atitudes e comportamentos entre peões do sexo masculino e do sexo feminino.

3.3.1.3. O quadro social, cultural, económico e educacional

Segundo Martin (2006), existe uma relação entre a tendência para os peões estarem envolvidos em acidentes rodoviários e as suas condições sociais. Para tal contribuem outros fatores implicitamente inseridos dentro do fator referido: o nível socioeconómico, o nível educacional e o nível cultural.

O nível socioeconómico é um fator considerado importante nos acidentes que envolvem peões. Baseado em estudos realizados noutros países (Chakravarthy *et al.*, 2010; Dandona *et al.*, 2008; Rivara e Barber, 1985; Roberts *et al.*, 1995), a WHO (2013) refere que, em geral, as pessoas de comunidades mais pobres estão mais propensas a se envolverem em acidentes com o tráfego automóvel devido a uma diferente perceção do risco.

Quanto ao nível educacional, Al-Madani e Al-Janahi (2006) garantem que este tem uma relação negativa com os acidentes que envolvem peões, isto é, quanto maior é o grau de escolaridade dos peões, menor é o risco de acidente. Estes autores basearam-se em dados recolhidos no seu país, o Barém, apresentados na figura 6, e a partir dos quais se observa uma redução drástica do número de acidentes com a passagem do nível de formação primária o preparatório, para além da relação referida anteriormente.

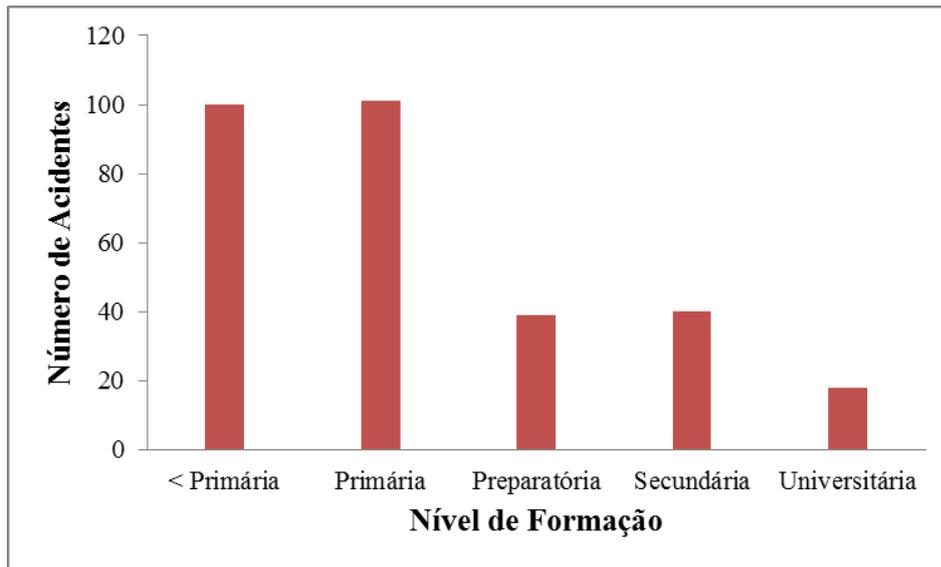


Figura 6 - Acidentes com peões por nível de formação num estudo realizado no Bahrain (adaptado de Al-Madani e Al-Janahi (2006))

Relativamente à cultura, Benekos e Toniolos (2010) descrevem este fator como um fator fundamental para a perceção de risco, associando a fatores como a religião, a nacionalidade e a etnia. O comportamento, a forma de pensar e as atitudes de cada indivíduo estão claramente ligadas e influenciadas à sua cultura.

3.3.1.4. Deslocação em grupo

A mera presença de outras pessoas num atravessamento pedonal pode influenciar a forma como cada peão se comporta. Por exemplo, quando um grupo de peões espera pela permissão para atravessar numa passagem semaforizada e um certo número desses peões avança mesmo sem ter permissão para tal, é possível que, após essa transgressão, alguns peões que inicialmente esperavam pelo sinal verde sigam o comportamento dos peões transgressores (Martin, 2006).

Num outro sentido, Leden (2002), a partir de uma recolha de dados sobre acidentes rodoviários que envolvessem peões em atravessamentos em Hamilton no Canadá, estudou qual seria o nível de risco dos peões, relacionando o volume horário de peões com o volume horário de tráfego rodoviário. O nível de risco estimado consistiu no número de acidentes ocorridos fornecidos pela polícia local por cem mil peões. Neste contexto, verificou-se que quanto maior o volume de peões nos atravessamentos, menor é o risco de acidente a que eles estão sujeitos. Por outro

lado, quanto maior o volume de tráfego, maior é o risco de acidente para os peões, como se pode verificar na figura 7.

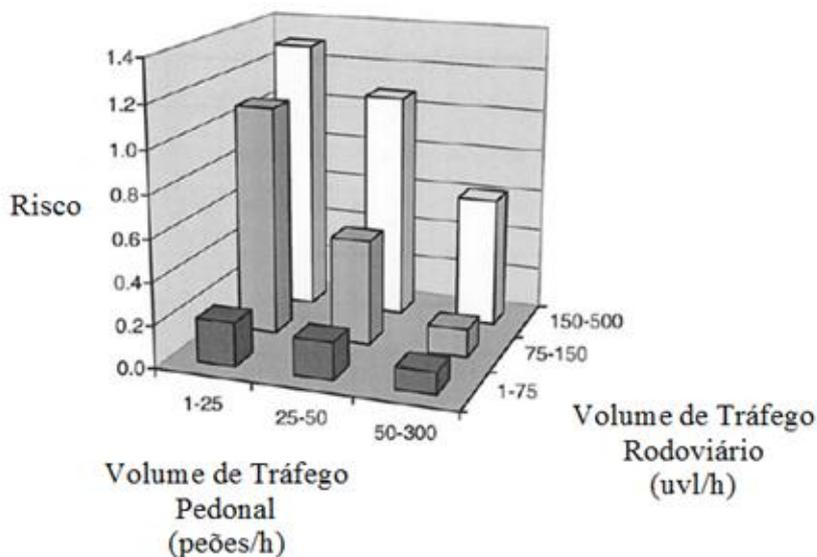


Figura 7 - Risco de acidente para peões em função do volume de tráfego pedonal e do volume de tráfego rodoviário (Leden, 2002)

Os estudos referidos acabam por parecer contraditórios, porém as conclusões retiradas a partir de ambos fazem todo o sentido. O facto de os peões se deslocarem em grupo pode traduzir-se em alterações comportamentais que, por sua vez, podem aumentar o risco dos peões. Estas mudanças comportamentais devem-se à “pressão do par”, isto é, à influência e/ou incentivo que cada peão recebe por parte dos seus semelhantes quando se desloca inserido num grupo (Martin, 2006). Neste caso, a classe etária dos peões é, mais uma vez, uma variável muito importante, pois, segundo Martin (2006) as crianças são muito mais influenciadas pela pressão dos pares do que os peões de outras classes etárias. Por outro lado, ao viajarem em grupo, os peões conseguem captar uma maior atenção por parte dos condutores. Embora possa parecer que o nível de segurança dos peões se equilibre tendo em conta ambos os factos, sobre a tomada de comportamentos perigosos recai uma importância superior.

3.3.2. Fatores associados às características do tráfego motorizado

3.3.2.1. Velocidade dos veículos

A velocidade a que os veículos circulam está profundamente relacionada com o risco de ocorrência de acidentes, assim como a gravidade dos mesmos. Quanto maiores as velocidades praticadas, maior é o número de acidentes e mais graves são as suas consequências (Chu, 2006; Liu e Tung, 2014).

O aumento da velocidade dos veículos traduz-se no aumento das distâncias de reação e de travagem. A primeira consiste na distância percorrida pelo veículo desde que o condutor vê um obstáculo até ao momento da sua reação, enquanto a segunda consiste na distância percorrida pelo veículo desde que o condutor coloca o pé no travão até ao momento em que o veículo para completamente. A soma das duas distâncias referidas determina a distância de paragem, como se pode perceber pela análise da figura 8 (IMTT, 2010).



Figura 8 - Distâncias de reação, de travagem e de paragem ([http:// www.obomcondutor.pt](http://www.obomcondutor.pt))

O aumento destas distâncias e a velocidade têm uma relação que se aproxima a uma curva quadrática (figura 9).

Esta relação tem em conta distâncias médias, não discriminando as características do pavimento nem dos veículos, assim como as suas condições hídras. Para o cálculo das distâncias de reação para cada velocidade foi admitido um tempo de reação médio de 1 segundo, este valor varia consoante o condutor, uns têm uma maior rapidez de reação, enquanto outros têm reações mais lentas. Para tal facto podem contribuir a classe etária dos condutores, as suas características físicas e psicológicas, bem como os seus níveis de concentração.

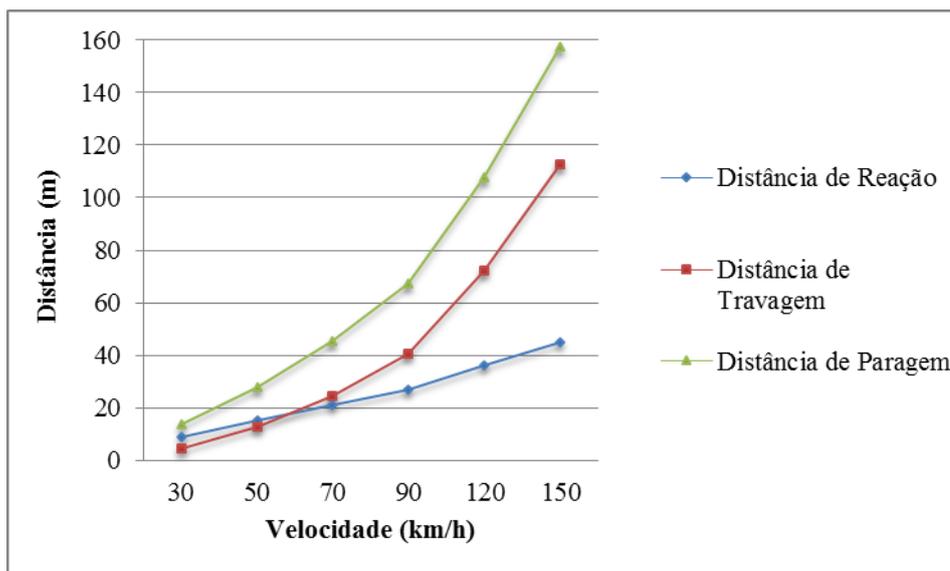


Figura 9 - Relação entre as distâncias de reação, de travagem e de paragem com a velocidade de circulação dos veículos (adaptado de IMTT (2010)).

O condutor de um veículo que circula a uma velocidade elevada dificilmente conseguirá evitar um acidente quando avista um peão na sua proximidade. Por outro lado, se um veículo se desloca a uma velocidade superior à permitida, os outros utilizadores das estradas, como por exemplo o peão, podem subestimar a sua velocidade e, assim, assumir erroneamente que é seguro efetuar o atravessamento da via (WHO, 2013).

Como já referido, por outras palavras, a probabilidade de um peão ser morto ao ser atingido por um veículo aumenta com o aumento da velocidade de impacto (Rosen *et al.*, 2011). Um estudo realizado por Tefft (2013), nos Estados Unidos da América, que teve como alvo peões com idades superiores a 15 anos, revela que, para velocidades baixas (abaixo dos 15-20 mph, isto é, abaixo de aproximadamente 30 km/h), os riscos de lesão ou de morte são baixos, no entanto, com o aumento da velocidade de impacto a partir dos valores referidos, os índices de risco vão aumentando consideravelmente, como se pode observar na figura 10.

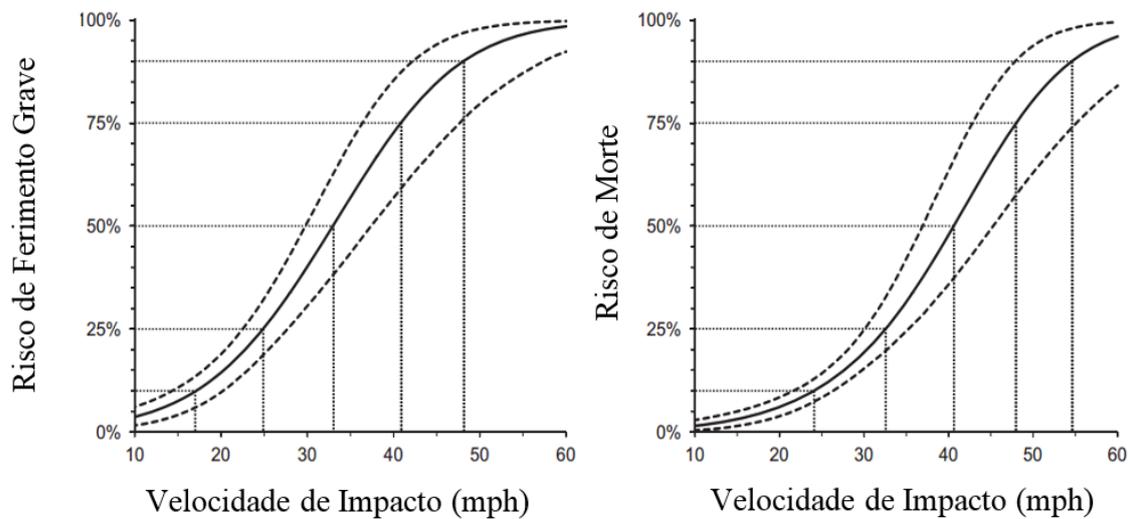


Figura 10 - Risco de lesão e de morte para os peões em função da velocidade de impacto (Tefft, 2013)

A velocidade de circulação dos veículos é, como se verifica, um dos fatores mais importante no que diz respeito à segurança dos peões, sendo este fator o principal responsável pelas mortes resultantes de atropelamentos.

3.3.2.2. Volume de tráfego

O volume de tráfego motorizado influencia também o risco para os peões, como se pode constatar na figura 7. Parece lógico que quanto maior for o volume de tráfego, maior será a probabilidade de ocorrência de atropelamentos devido ao número elevado de veículos que circulam em determinada via (Leden, 2002; Zegeer *et al.*, 2002).

Como foi já referido, o comportamento dos peões pode também alterar-se em situações de maiores volumes de tráfego rodoviário. Quando os volumes de tráfego são elevados, aumenta a tendência para os peões que esperam por uma oportunidade para atravessar a estrada perderem a paciência devido aos elevados tempos de espera a que se sujeitam e tomarem comportamentos e atitudes mais arriscadas, como por exemplo atravessar aceitando intervalos mais curtos entre veículos (Martin, 2006).

Porém, o facto de os volumes de tráfego serem mais elevados também se traduz na prática de velocidades mais reduzidas por parte dos condutores dos veículos devido a uma menor fluidez do tráfego. Este facto, por sua vez, pode constituir uma medida de segurança para os peões (WHO, 2013).

3.3.2.3. Tipo de veículo

O tipo de veículo não se considera tanto um fator de risco de acidente para os peões, mas sim um fator com grande influência na gravidade das consequências dos atropelamentos. Todavia, a dimensão dos veículos está também associada à necessidade de maiores distâncias de paragem, o que pode ser considerado como um importante facto na avaliação de risco para peões (Chu, 2006).

A rigidez e forma da parte dianteira de cada veículo, tais como o seu comprimento e altura influenciam bastante a gravidade das lesões nos peões. Neste sentido, Chu (2006) garante que os camiões, autocarros e veículos todo-terreno estão associados a acidentes com consequências bastante graves para os peões.

3.3.3. Fatores associados às características da infraestrutura rodoviária e da envolvente física e ambiental

3.3.3.1. Condições climatéricas

O risco para os peões é maior quando existem condições meteorológicas adversas, como a ocorrência de precipitação, a existência de nevoeiro ou a queda de neve, apesar de que estas condições levem à tomada de comportamentos e práticas mais seguras. Este tipo de ocorrências é considerado um grande problema no âmbito da segurança rodoviária, uma vez que quando existem, o número de acidentes relatados é maior. Este facto tem sido facilmente explicado com a deterioração das condições de visibilidade dos condutores e peões e das condições de aderência entre os pneus dos veículos e o pavimento rodoviário onde a água proveniente da chuva ou da neve atua como um lubrificante (Chu, 2006; Martin, 2006).

Nestas condições, a segurança dos peões fica também afetada. Nas situações de atravessamento, por exemplo, os peões tornam-se ainda muito mais vulneráveis: em primeiro lugar, porque

muitas vezes não se conseguem aperceber da aproximação dos veículos a distâncias consideradas seguras; e em segundo lugar, porque, quando os condutores dos veículos se apercebem que o peão está a executar o atravessamento, já não têm tempo nem espaço para parar o veículo e evitar o atropelamento devido à necessidade de uma maior distância de travagem provocada pelas más condições de aderência.

3.3.3.2. Condições visibilidade

Segundo a WHO (2004), ver e ser visto é um pré-requisito fundamental para a segurança de todos os utentes das estradas. A evidência dos peões e veículos não serem devidamente visíveis é considerado um sério problema no seio das entidades que trabalham sobre a temática da segurança rodoviária. Na Europa, cerca um terço das mortes resultantes de atravessamentos resultam das deficientes condições de visibilidade fornecidas aos peões.

No mesmo sentido, estima-se que cerca de dois quintos dos condutores envolvidos nesses trágicos acidentes tenham dificuldade em ver o peão (WHO, 2004). Para estes números contribuem os seguintes deficiências (WHO, 2013):

- Iluminação das vias inadequada ou em falta;
- Falta de equipamentos de iluminação nos veículos;
- Indevida iluminação dos atravessamentos pedonais;
- Não utilização de acessórios refletivos ou roupas coloridas por parte dos peões;
- Inadequada localização dos atravessamentos pedonais.

Um outro facto que confirma que as condições de visibilidade têm um importante peso na segurança dos peões é o de que a grande maioria dos atropelamentos de peões acontece durante os períodos de amanhecer, de entardecer e noturnos, onde as condições de visibilidade são mais reduzidas, sendo as deslocações em período noturno um dos maiores fatores de risco para os peões (Liu e Tung, 2014; Ulfarsson *et al.*, 2010). Para este facto pode também contribuir o cansaço e a sonolência tanto dos condutores como dos peões.

3.3.3.3. As características da estrada e da sua envolvente

Como foi já referido, o número relatado de atropelamentos é maior nas áreas urbanas do que nas áreas rurais (cerca de 70% dos atropelamentos na União Europeia acontecem em áreas urbanas). Para tal, a explicação mais vulgar é o facto dos volumes de tráfego, tanto pedonais como rodoviários, serem superiores em áreas urbanas. Contudo, devido a maiores velocidades do tráfego motorizado, os atropelamentos em zonas rurais têm geralmente consequências mais graves (Granie *et al.*, 2014; WHO, 2013).

Ao nível das áreas urbanas, as estatísticas europeias mostram que a maioria dos atropelamentos ocorre nas distribuidoras locais, ou seja, estradas cujo limite de velocidade é de 50 km/h ou menos. Surpreendentemente, este tipo de ocorrência é menos frequente em vias de acesso local, onde, apesar da velocidade limite ser geralmente de 30 km/h, existe uma partilha do espaço entre peões e veículos (Martin, 2006).

Ainda dentro das características das estradas, verifica-se que as suas larguras desempenham um papel relevante no risco para os peões, sendo que quanto maior a largura da estrada, maior é o risco de atropelamento devido à sensação de liberdade e segurança sentida por parte dos condutores (Bly *et al.*, 1999).

Um outro aspeto importante é a existência de lugares de estacionamento ao longo das vias de tráfego. Martin (2006) refere que as taxas de acidentes são mais elevadas quando os atravessamentos pedonais são mascarados pelos carros estacionados na sua proximidade, mostrando que, na Grã-Bretanha em 2003, quase 17% de todos os atropelamentos ocorreram nestas circunstâncias. Este fator ganha ainda mais peso quando se trata de peões ainda crianças devido à sua baixa estatura física, o que os impede de ver os veículos que se aproximam e de serem vistos pelos condutores dos mesmos.

O ruído produzido pelos automóveis é também importante na segurança para os peões do ponto de vista da maior dificuldade ou facilidade de que estes se apercebem da aproximação dos veículos, apesar de ser considerado um dos grandes impactos ambientais provocados pelos transportes rodoviários (Stelling-Kończak *et al.*, 2015). Contudo, não se encontraram estudos que abordassem este assunto.

4. PERCEÇÃO DO RISCO ATRAVÉS DO RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

4.1. Considerações gerais

O ruído do tráfego rodoviário é um dos principais contribuintes para o ruído ambiental nos grandes centros urbanos, onde as infraestruturas rodoviárias ocupam uma grande percentagem das suas áreas e o volume de tráfego motorizado tem vindo a aumentar com o passar dos anos. Prova disso são os números apresentados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2012, 2014) que mostram o seguinte:

- No último dia do ano de 2013 a rede rodoviária nacional tinha uma extensão total de 14 310 quilómetros, número este ligeiramente superior ao do ano de 2012, mas que tem sempre aumentando como se pode analisar na figura 11;

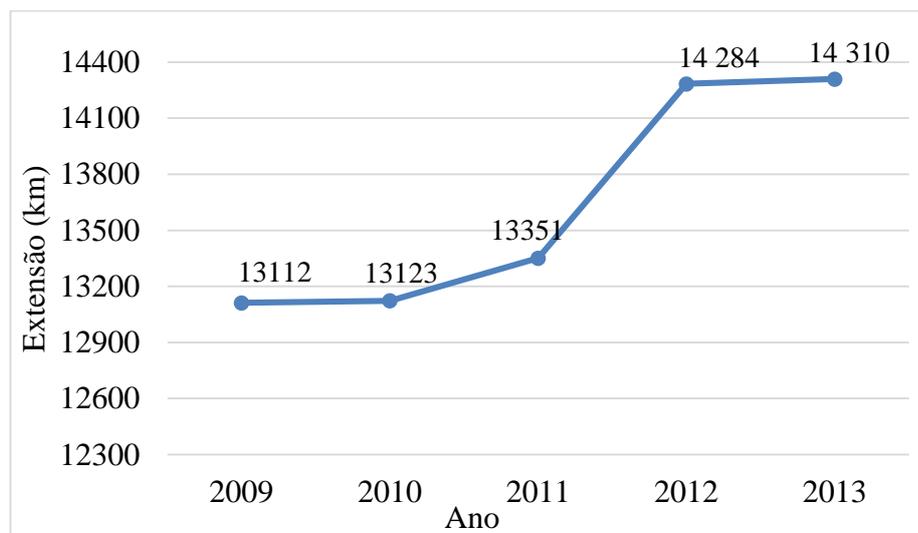


Figura 11 - Evolução da extensão da rede de estradas nacional entre 2009 e 2013 (baseado em dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014))

- A dimensão total do parque de veículos rodoviários motorizados em circulação, referente a 31 de dezembro 2013, cresceu em relação ao número registado no mesmo dia do ano de 2012, ainda que este crescimento tenha sido ligeiro, cerca de 1,1%;

- A taxa de motorização em Portugal referente ao ano de 2013 era de 413,8 veículos ligeiros de passageiros por 1000 habitantes, um pouco superior aos 405,0 veículos ligeiros de passageiros por 1000 habitantes registados no ano de 2012;
- Os índices de concentração da rede rodoviária nas cidades de Lisboa e do Porto eram, em 2013, de 0,38 e 0,50 quilómetros por cada 1 000 habitantes, respetivamente, e os índices de densidade da rede rodoviária das mesmas cidades eram de 301,2 e 384,9 km de rede rodoviária por cada 1000 km² de superfície.

O ruído do tráfego é considerado um grande problema do ponto de vista urbano, visto que pode ser responsável por causar consideráveis impactos na saúde pública e qualidade de vida das populações (Babisch, 2008; Job, 1996). Por este motivo, têm surgido nos últimos anos alguns estudos sobre técnicas que possam vir a reduzir estes impactos, como por exemplo os pavimentos rodoviários de baixo ruído que são capazes de reduzir o ruído proveniente da circulação do tráfego rodoviário (Freitas e Pereira, 2013). Um outro aspeto que promete reduzir substancialmente o ruído proveniente da circulação dos veículos é o surgimento dos veículos elétricos cujo funcionamento dos seus motores produz níveis de ruído quase impercetíveis (Jabben *et al.*, 2012).

No entanto, o que pode ser um bom pronúncio para a saúde e vivência urbana, a redução do ruído rodoviário, pode também constituir um grande revés no que se refere à segurança rodoviária: a falta do ruído do tráfego rodoviário pode constituir um maior risco para todos os utilizadores da rede viária (Verheijen e Jabben, 2010).

Por forma a se avaliar o impacto e influência que o ruído proveniente da circulação dos veículos possa ter na percepção do risco por parte dos peões, visto que este é um parâmetro sobre o qual foram encontrados poucos estudos, neste trabalho optou-se por se realizar uma experiência em ambiente virtual a um conjunto de participantes que permitirá avaliar tal influência referida, mas também a influência que outros tipos de variáveis como a velocidade e o tipo de pavimento das estradas terão na tomada de decisão dos peões numa situação de atravessamento de uma faixa de rodagem.

4.2. Metodologia experimental

A experiência realizada consistiu na apresentação de vários estímulos sonoros a um conjunto de participantes, que simulavam a passagem de um veículo ligeiro a uma dada velocidade, num determinado tipo de pavimento rodoviário e cuja aproximação do veículo podia ser apercebida a uma dada distância inicial de apresentação do estímulo. O objetivo desta experiência compreendia a avaliação do impacto da velocidade e do tipo de pavimento rodoviário e, principalmente, a avaliação da influência que o ruído proveniente da circulação dos veículos têm na perceção do risco por parte dos peões. Desta forma, a tarefa a que cada participante se sujeitou foi à tomada de decisão da realização do atravessamento de uma passagem para peões quando sujeito aos estímulos sonoros referidos e posteriormente descritos de forma detalhada.

4.2.1. Protocolo experimental

A experiência em ambiente virtual fundou-se na apresentação de estímulos auditivos que simulavam a passagem de um automóvel ligeiro. Desta forma, os estímulos apresentados consistiam em sons provenientes da circulação de um veículo em três tipos de pavimentos distintos e a duas velocidades diferentes. Utilizaram-se sons resultantes da circulação de um veículo em vias de betão betuminoso (BB), blocos de cimento (BC) e cubos de granito (CG) (figura 12), às velocidades de 30 e 50 km/h, de forma a retratar os limites de velocidades para o tráfego rodoviário nos centros urbanos. Estes sons tinham sido adquiridos no âmbito do projeto *Noiseless*.



Figura 12 - Pavimentos sobre os quais se fez a aquisição dos sons utilizados nos estímulos
(Cunha, 2013)

Importa também referir que foram utilizados dois tipos diferentes de sons: sons reais e sons virtuais.

Os sons reais consistem em sons adquiridos através do método da passagem controlada (método CPB), que por sua vez consiste na medição dos níveis máximos de pressão sonora ponderada A de um número de veículos em passagem num determinado trecho de uma estrada em estudo. Neste método, o microfone que efetua a aquisição é colocado a 7,5 m do centro da via de tráfego e entre 1,1 m e 1,3 m acima do plano da faixa de rodagem (figura 13). Os sons adquiridos por este método incluem todo o tipo de ruído existente, tanto o que resulta da interação pneu-pavimento, como o ruído proveniente do motor do veículo e o ruído ambiente (Antunes *et al.*, 2008). Na aquisição dos sons utilizados no presente estudo, empregou-se um manequim *Head and Torso Simulator* (HATS) da *Brüel & Kjær* modelo 4128-D com simuladores de orelha em detrimento do microfone, como é referido anteriormente e exemplificado na figura 13.



Figura 13 - Exemplo da aplicação do método CPB (<http://www.mplusp.eu>)

Os sons virtuais correspondem a sons adquiridos através do método da proximidade imediata (método CPX) transformados em sons idênticos aos adquiridos através do método CPB.

O método CPX consiste na medição do ruído junto a uma das rodas de um veículo (figura 14). Neste tipo de método podem ser usados dois ou mais microfones colocados a 20 cm do pneu e a 10 cm do pavimento, que efetuam a aquisição do som enquanto o veículo se desloca durante

pelo menos 200 metros de modo contínuo e à velocidade de circulação do tráfego ou a uma velocidade previamente estipulada (Cunha, 2013). Este método permite uma aquisição contínua do ruído resultante da interação pneu-pavimento, em particular.

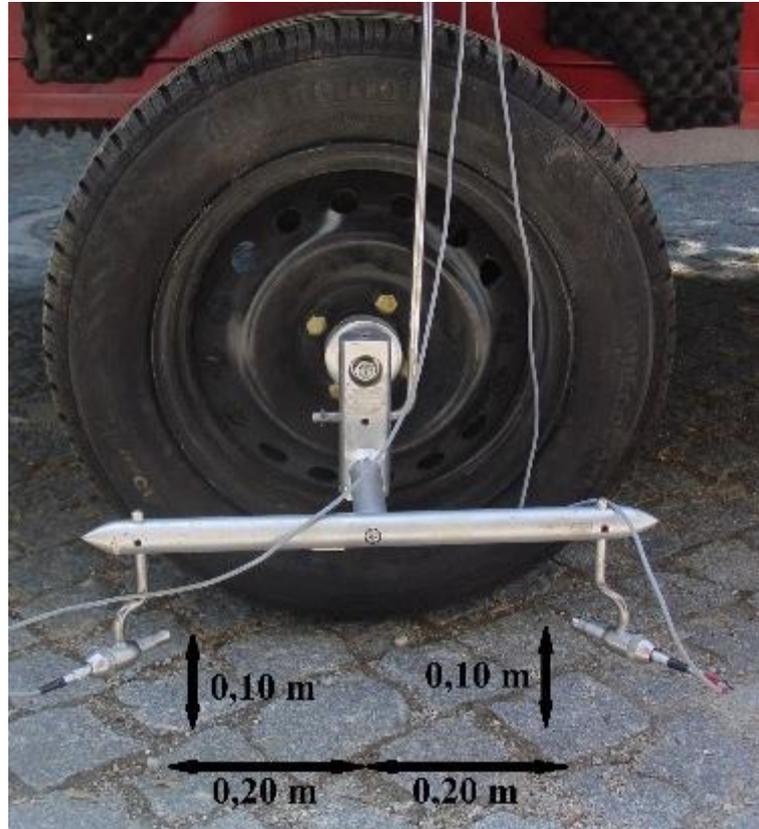


Figura 14 - Exemplo do posicionamento dos microfones no método da proximidade controlada (Cunha *et al.*, 2014)

Tanto num caso como no outro, os sons foram manipulados de maneira a que a sua duração fosse de 5 segundos. A transformação dos sons adquiridos através do método CPX teve por base um algoritmo desenvolvido em *Matlab* onde, tendo em conta as medidas posicionais indicadas anteriormente para os dois métodos e as atenuações quanto às características acústicas dos vários tipos de pavimento, se calculou um fator de calibração a aplicar aos referidos sons (Anfosso-Lédée, 2004). Posteriormente, procedeu-se à auralização dos mesmos de forma a simular a passagem do veículo por um ponto de referência (recetor) estático.

O grande objetivo da consideração destes dois tipos diferentes de sons consiste no estudo do impacto que, quer o ruído proveniente da interação pneu-pavimento quer o ruído resultante da circulação do veículo, possa ter na perceção do risco por parte dos peões.

Para que, desde já, se possa ter uma noção das diferenças entre os dois tipos de som, são apresentados na tabela 1 os valores dos indicadores acústicos do nível de pressão sonora máxima (L_{max}) e do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), e do indicador psicoacústico *Loudness*, correspondentes aos sons utilizados na composição dos estímulos auditivos. O *Loudness* é usado habitualmente na área da Psicologia para descrever uma sensação auditiva e presume-se que este dependa do número total de impulsos nervosos que chegam ao cérebro por segundo, ao longo do aparelho auditivo (Fletcher e Munson, 1933).

Tabela 1 - Valores dos indicadores acústicos, L_{max} e L_{eq} , e psicoacústico, *Loudness*, dos dois tipos sons com duração de 5 segundos

Tipo de Pavimento	Velocidade (km/h)	L_{max} (dB(A))		L_{eq} (dB(A))		Loudness (Sone)	
		Real	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual
Betão Betuminoso	30 km/h	57,96	42,27	53,79	36,71	6,88	2,17
	50 km/h	64,09	50,08	57,41	41,53	8,97	3,10
Blocos de Cimento	30 km/h	63,71	51,66	59,64	45,29	7,74	4,47
	50 km/h	69,22	64,32	63,18	55,22	10,12	8,46
Cubos de Granito	30 km/h	68,79	59,48	64,68	52,55	9,93	6,92
	50 km/h	73,43	69,15	66,38	60,05	12,80	10,83

Desde logo se verificam diferenças entre os valores dos vários indicadores para sons reais e virtuais, assim como para as velocidades e para os diferentes tipos de pavimento. Quando se tem o tipo de pavimento como base de comparação, repara-se que existe uma subida gradual de forma sucessiva dos valores dos indicadores acústicos e psicoacústico entre os sons referentes ao pavimento de betão betuminoso, blocos de cimento e cubos de granito. De forma mais pronunciada, salienta-se as diferenças entre os níveis de ruído para cada uma das velocidades e tipo de som, real e virtual.

Ainda quanto aos estímulos auditivos gerados, importa acrescentar que foram também utilizadas três distâncias iniciais diferentes. Estas distâncias correspondem a um ponto a partir do qual os participantes começavam a ouvir o veículo em aproximação. As distâncias iniciais utilizadas foram de 10, 15 e 20 metros, traduzindo-se em diferentes TTPs (*time-to-passage*) que variam entre os 0,72 e os 2,4 segundos (tabela 2), calculados pela fórmula descrita na expressão 4.

$$TTP = \frac{d}{v/3,6} \quad (4)$$

Onde,

d corresponde à distância inicial (10 m; 15 m; 20 m),

v corresponde à velocidade a que circula o veículo (30 km/h; 50 km/h).

Tabela 2 - Valores do TTP utilizados nos estímulos auditivos

Distância Inicial (m)	Velocidade (km/h)	TTP (s)
10	50	0,72
10	30	1,20
15	50	1,08
15	30	1,80
20	50	1,44
20	30	2,40

Todos os sons foram manipulados para que tivessem a mesma duração, independentemente do seu TTP. A duração escolhida foi de 1,56 segundos (valor médio entre o TTP mínimo (0,72 s) e o TTP máximo (2,40 s)) de modo a que os participantes tivessem a sensação de que em metade dos estímulos apresentados o veículo não chegaria a passar por eles enquanto o som lhes era apresentado. Passados 0,5 segundos do início de cada estímulo, era apresentado um sinal (*bip*) sem que houvesse interrupção da apresentação do referente estímulo auditivo com o objetivo de indicar o instante para o qual era avaliada a possibilidade de efetuar o atravessamento da passagem para peões demarcada no piso e a partir do qual era dada a informação sobre a decisão tomada.

Antes da realização da experiência aos participantes foi efetuada a calibração do som a ser apresentado através de um sonómetro da marca *Briuel & Kjaer* e modelo 22 70 (figura 15) tendo por base o nível de pressão sonora máxima para um dos sons que era apresentado como estímulo aquando da sua aquisição (som adquirido através do método CPB correspondente à circulação de um veículo em cubos de granito à velocidade de 50 km/h cujo nível de pressão sonora máximo ($L_{máx}$) registado foi de 69,15 dB(A)).



Figura 15 - Sonómetro utilizado para calibração dos sons

A apresentação dos estímulos foi realizada de forma aleatória e através de uns auscultadores AKG K-271 MKII (figura 16). Cada estímulo era repetido cinco vezes, sendo cada um deles apresentado a cada participante nos dois sentidos, tanto da sua esquerda para a sua direita como da sua direita para a sua esquerda. Assim, o número total de estímulos apresentado a cada participante foi de 360, como se pode perceber mais facilmente através da expressão 5.

$$\begin{aligned} 3 \text{ Pavimentos} \times 6 \text{ TTPs} \times 2 \text{ Tipos de sons} \times 2 \text{ Sentidos} \times 5 \text{ Repetições} &= & (5) \\ &= 360 \text{ Estímulos} \end{aligned}$$



Figura 16 - Auscultadores utilizados na apresentação dos estímulos auditivos

Para a realização da experiência estava também demarcada, no piso da CAVE do Centro de Computação Gráfica (CCG), na Universidade do Minho, local onde se realizou a experiência, uma passagem para peões numa estrada de uma via de tráfego com a largura de 3,5 metros, com recurso a tiras de vinil autocolante branco com as larguras estipuladas pelo Instituto de Infraestruturas Rodoviárias (INIR) e seguidamente representada pela figura 17 e pela figura 18. O principal objetivo desta demarcação era que os participantes tivessem uma maior capacidade de se abstraírem de possíveis desconcentrações.

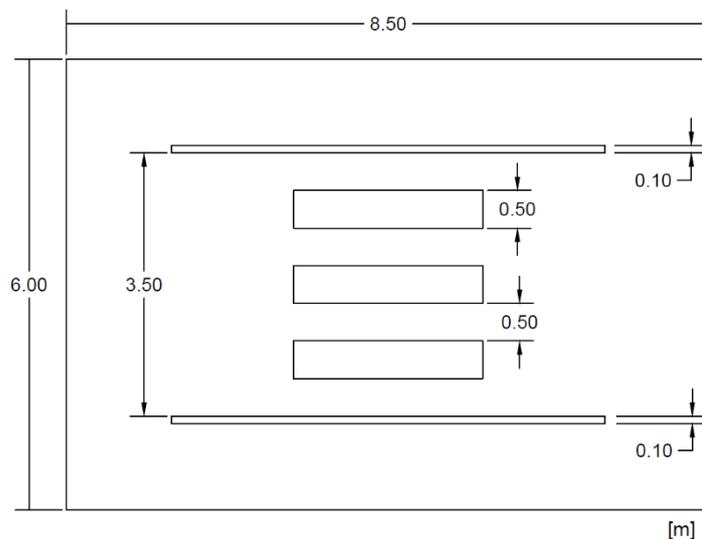


Figura 17 - Desenho em planta da disposição da passagem para peões implementada



Figura 18 - Disposição da passagem para peões após a sua implantação no piso do local onde se realizou a experiência

Complementando a demarcação da passagem para peões, aquando a passagem da experiência a cada um dos participantes, era projetada uma imagem representativa de um terreno descampado numa tela situada em frente ao participante e do lado oposto da passagem para peões (figura 19).

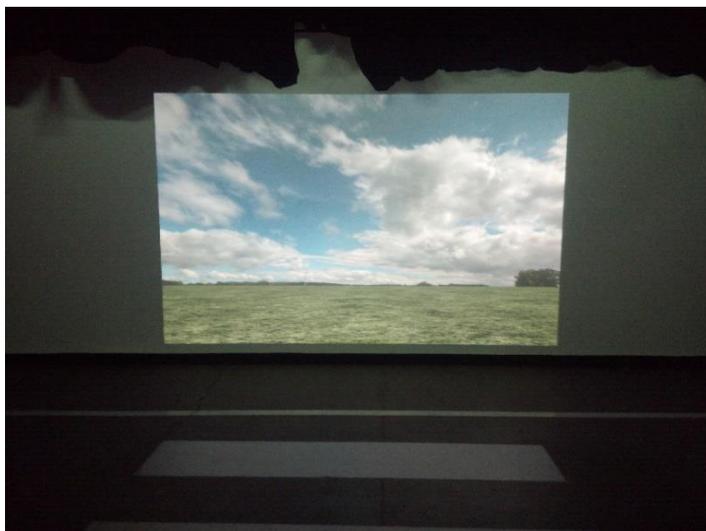


Figura 19 - Imagem projetada no decorrer da experiência

Descrito todo o protocolo experimental, resta apenas acrescentar que, a resposta a cada estímulo era dada clicando num rato, onde o botão esquerdo do rato significava a realização do atravessamento e o botão direito significava a situação contrária, ou seja, a não realização do

atravessamento. Cada resposta tinha que ser dada num intervalo de tempo de aproximadamente 2,5 segundos, desde a apresentação do sinal sonoro, já descrito anteriormente, até ao final do intervalo entre estímulos que tinha uma duração de 1,5 segundos.

4.2.2. Procedimento experimental

A experiência foi realizada a uma amostra de 10 participantes, 5 do sexo masculino e 5 do sexo feminino, entre os 20 e os 30 anos de idade.

Este tipo de experiências apresenta normalmente um elevado nível de complexidade para os participantes, uma vez que os estímulos são apresentados num curto intervalo de tempo, sendo necessária uma grande concentração por parte de quem os está a avaliar. Por este motivo, para que as suas respostas apresentassem a maior consistência possível, cada participante foi submetido a uma tarefa de treino antes do início da experiência. Esta tarefa consistiu na apresentação de 24 dos 360 estímulos que posteriormente eram apresentados na experiência. Após a tarefa de treino, as respostas eram avaliadas e, se não se verificasse nenhum problema, dava-se início à tarefa experimental.

Para a realização da tarefa de treino e posteriormente da experiência, cada participante colocava-se, de frente para a tela de projeção da paisagem, no lado da passagem para peões mais afastado da referida, como se pode perceber analisando o esquema da figura 20.

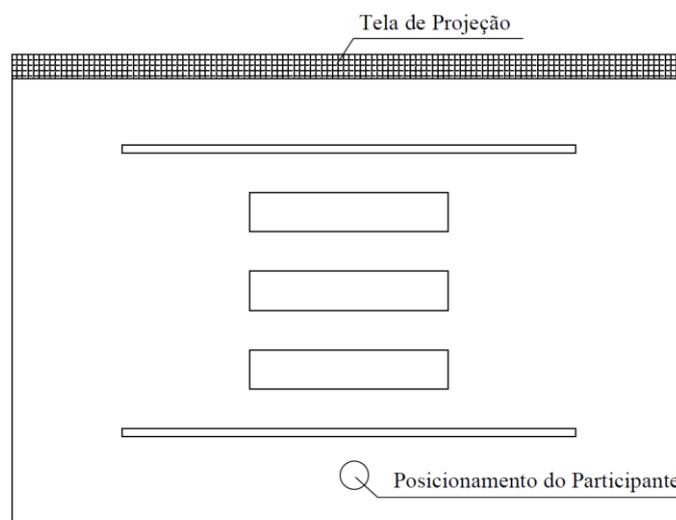


Figura 20 - Esquema de representação do posicionamento de cada participante durante o decorrer da experiência

Antes do início da tarefa de treino eram lidas as instruções experimentais a cada participante. Estas instruções correspondiam a indicações sobre o objetivo da experiência, o seu conteúdo e duração e sobre o tipo de resposta a ser fornecida. Posto isto, era dado o início ao processo experimental que tinha uma duração de cerca de 20 minutos por participante.

A experiência decorreu sem quaisquer problemas em todas as participações, tendo todos os participantes percebido o objetivo do estudo e o tipo de tarefa que tinham de executar. Em nenhuma situação ocorreu alguma desistência, nem, tão pouco, a interrupção da tarefa experimental.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Introdução

Neste capítulo da presente dissertação, tem-se por objetivo a análise da influência das diferentes variáveis em estudo na percepção do risco por parte dos peões, sendo estes representados pelos 10 participantes que realizaram a experiência.

As variáveis a analisar serão, principalmente, os diferentes tempos de passagem dos veículos (TTPs) que, por sua vez, dependem da velocidade de circulação dos veículos e da distância a que os participantes começam a ouvir o veículo a aproximar-se, e ainda o tipo de pavimento e o tipo de som (real ou virtual). As duas últimas variáveis, o tipo de pavimento e o tipo de som, conjuntamente com a velocidade, permitirão avaliar o impacto do nível do ruído proveniente do tráfego rodoviário.

5.2. Análise de resultados segundo uma perspetiva psicofísica

As respostas obtidas apresentam alguma variabilidade quando comparadas entre os diversos participantes e os vários tipos de estímulos apresentados. Tal facto deve-se à complexidade da experiência que dificulta a tomada de decisão dos participantes. Contudo, mesmo perante esta situação, é possível retirar significativas conclusões dos resultados obtidos.

Na tabela 3 são apresentados as percentagens relativas a cada tipo de resposta para cada um dos diferentes tipos de estímulos, para a globalidade dos dados. É de salientar que, apesar da complexidade das experiências, a percentagem de respostas falhadas para cada um dos diversos estímulos auditivos é bastante reduzida. Pela sua análise, verifica-se uma grande variabilidade das percentagens de cada tipo de resposta consoante os diferentes tipos de estímulos auditivos apresentados, onde principalmente se nota a influência da velocidade e do tipo de som, real ou virtual, a eles correspondente.

Tabela 3 - Percentagens relativas a cada tipo de resposta por cada um dos diferentes tipos de estímulos

Distância Inicial (m)	Tipo de Pavimento	Velocidade (km/h)	Som	% Atravessamentos	% Não Atravessamentos	Respostas Falhadas
10	Betão	30	Real	11%	88%	1%
		30	Virtual	88%	12%	0%
	Betuminoso	50	Real	8%	92%	0%
		50	Virtual	62%	38%	0%
	Blocos de Cimento	30	Real	11%	89%	0%
		30	Virtual	80%	20%	0%
		50	Real	4%	96%	0%
	Cubos de Granito	50	Virtual	4%	96%	0%
		30	Real	9%	90%	1%
		30	Virtual	30%	70%	0%
		50	Real	0%	100%	0%
	15	Betão	50	Virtual	2%	98%
30			Real	26%	73%	1%
30			Virtual	95%	4%	1%
50			Real	10%	90%	0%
Betuminoso		50	Virtual	80%	19%	1%
		30	Real	25%	75%	0%
		30	Virtual	81%	19%	0%
		50	Real	5%	94%	1%
Blocos de Cimento		50	Virtual	6%	93%	1%
		30	Real	20%	78%	2%
		30	Virtual	59%	41%	0%
		50	Real	4%	96%	0%
Cubos de Granito	50	Virtual	5%	94%	1%	
	30	Real	44%	54%	2%	
	30	Virtual	96%	4%	0%	
	50	Real	7%	92%	1%	
	50	Virtual	82%	18%	0%	
	30	Real	33%	63%	4%	
20	Betão	30	Virtual	85%	15%	0%
		50	Real	8%	91%	1%
		50	Virtual	18%	82%	0%
		30	Real	30%	69%	1%
	Blocos de Cimento	30	Virtual	70%	29%	1%
		50	Real	0%	100%	0%
Cubos de Granito	50	Virtual	6%	93%	1%	

5.2.1. Tempo de passagem do veículo, TTP

Relativamente aos vários TTPs utilizados, confirma-se a dispersão, como se pode verificar pela análise das figuras 21 e 22. No entanto, com a realização de uma análise ANOVA concluiu-se que as médias das respostas para os vários TTPs diferem de forma significativa ($P= 2,83 \times 10^{-10} < 0,05$).

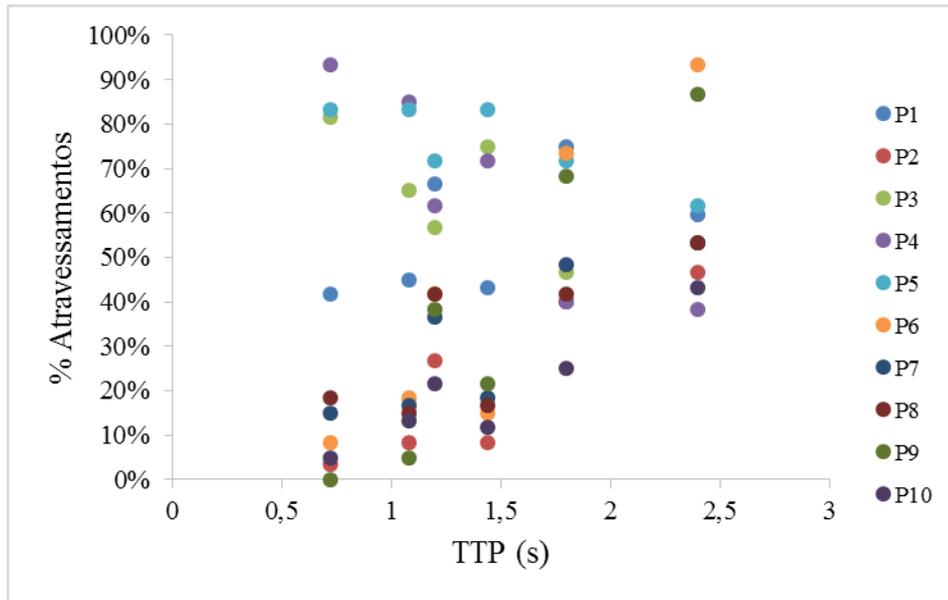


Figura 21 - Percentagem de Atravessamentos por participante, segundo os diferentes TTPs

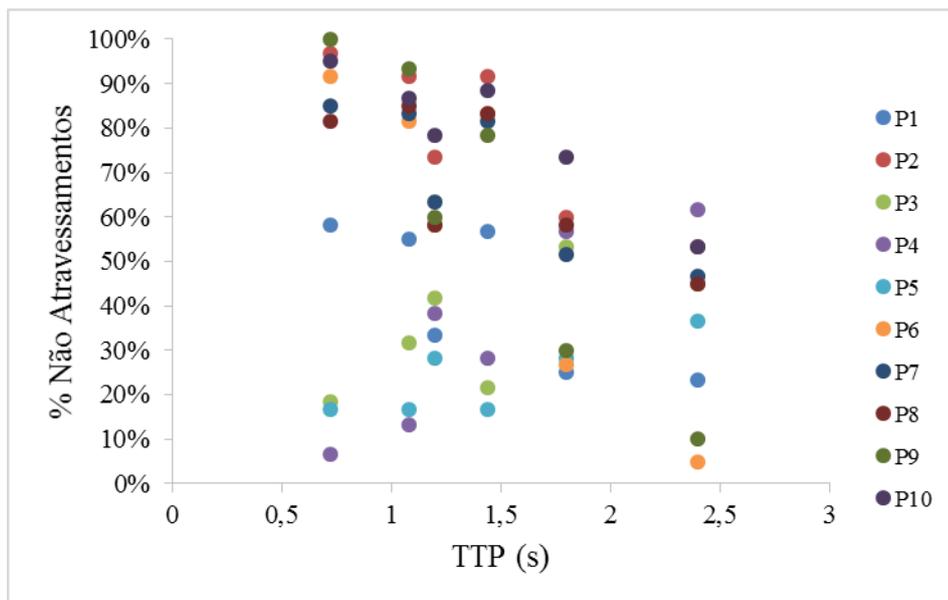


Figura 22 - Percentagem de Não Atravessamentos por participante, segundo os diferentes TTPs

Apesar da dispersão de pontos existente, de um modo global é possível destacar a estimativa dos diferentes tempos de aproximação utilizados. Pela análise das anteriores figuras, é de notar que a evolução de uma maior concentração de pontos se dá de forma crescente, segundo a percentagem de respostas obtidas, conforme o aumento do TTP para as respostas de atravessamento e o inverso se verifica para a situação contrária relativa às respostas de não atravessamento, devido ao facto de o número de respostas falhadas ser quase nulo. Tal facto pode ser mais facilmente confirmado através da análise da figura 23.

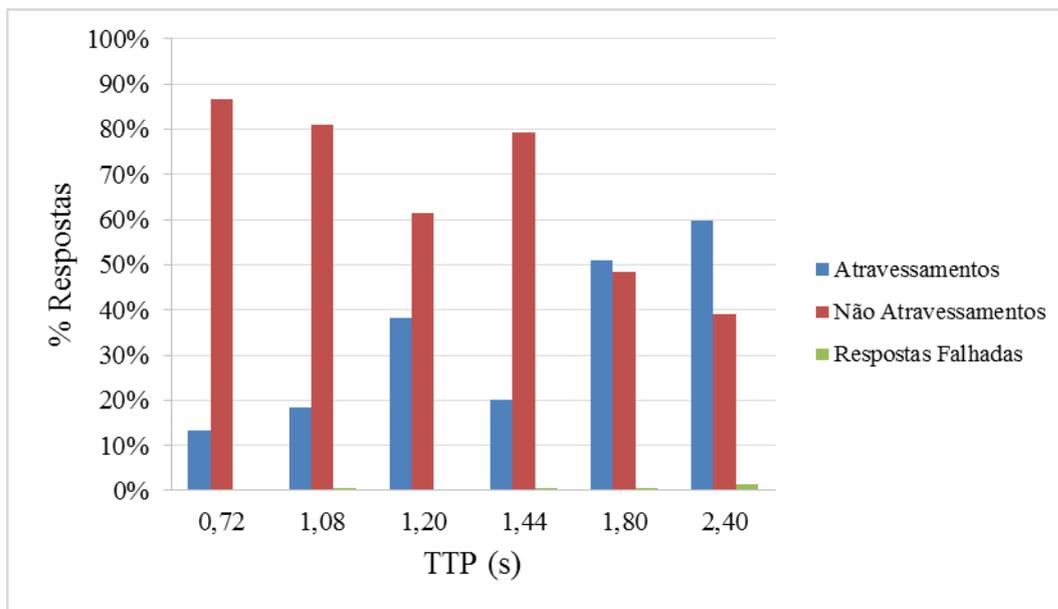


Figura 23 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta segundo os diferentes TTPs

Confirmando o que já foi referido, a percentagem de atravessamentos mostra uma tendência linear a aumentar com o aumento dos tempos utilizados (figura 24) e, conseqüentemente, a percentagem de não atravessamentos mostra uma tendência também linear a diminuir com o aumento dos tempos utilizados (figura 25), havendo apenas uma exceção verificada para as percentagens de respostas relativas aos estímulos com um TTP de 1,44 segundos. Esta evidência mostra que os participantes davam mais importância à velocidade de circulação dos veículos do que propriamente à distância a que começavam a ouvir a sua aproximação na avaliação dos estímulos, pois a percentagem de respostas é superior para os tempos de passagem do veículo correspondentes à velocidade de 30 km/h, como se pode verificar na figura 24 tendo em consideração os valores apresentados na tabela 2 desta dissertação presente no capítulo anterior.

Isto é, para o TTP de 1,44 segundos a distância inicial (20 metros) era superior à distância inicial do TTP anterior, 1,20 segundos (10 metros), o que justificava uma percentagem superior de atravessamentos, contudo o facto de a velocidade ser inferior para os estímulos com um TTP de 1,20 segundos (30 km/h), quando comparada com a velocidade dos estímulos com um TTP de 1,44 segundos (50 km/h), explica a discrepância verificada.

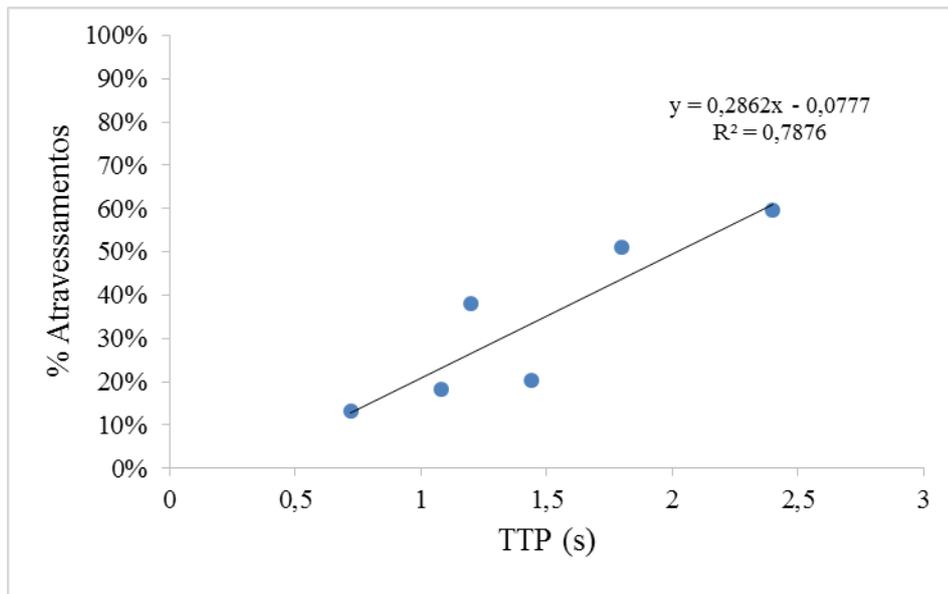


Figura 24 - Relação linear para o aumento da percentagem de atravessamentos segundo o aumento do TTP

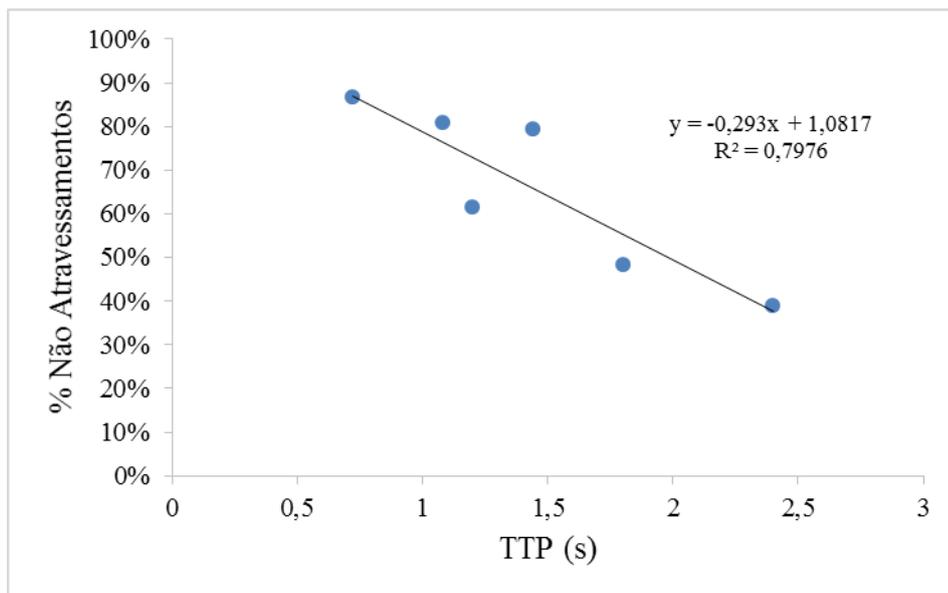


Figura 25 - Relação linear para o aumento da percentagem de não atravessamentos segundo o aumento do TTP

Todavia, verifica-se que os tempos de passagem do veículo tiveram um peso considerável nas respostas dadas pelos participantes, o que significa que a informação relativa ao tempo de passagem foi informativa e utilizada no julgamento efetuado pelos participantes.

5.2.2. Velocidade

Como foi referido no terceiro capítulo desta dissertação, a velocidade de circulação dos veículos é um dos fatores que mais influencia o risco para peões, sendo este o principal fator responsável pelo número de mortes resultantes da ocorrência de atropelamentos. No entanto, a forma como os peões são capazes de perceber a velocidade a que um determinado veículo se aproxima é certamente muito importante no que diz respeito à sua segurança, pelo que se torna essencial verificar a forma como esta variável é percebida através do ruído do tráfego rodoviário.

Na tabela 4 apresentam-se as proporções de respostas obtidas em função das diferentes velocidades. Numa fase inicial, optou-se por se distinguir as percentagens de respostas segundo as diferentes distâncias iniciais utilizadas, uma vez que ambas as variáveis influenciam os tempos de passagem dos veículos como se observa nas figuras 23, 24 e 25.

Tabela 4 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta pelas diferentes velocidades e distâncias iniciais

Distância Inicial (m)	Velocidade (km/h)	Atravessamentos	Não Atravessamentos	Falhadas
		%	%	%
10	30	38,2%	61,5%	0,3%
	50	13,3%	86,7%	0,0%
15	30	51,0%	48,3%	0,7%
	50	18,3%	81,0%	0,7%
20	30	59,7%	39,0%	1,3%
	50	20,2%	79,3%	0,5%

Com a realização de um *t-test* concluiu-se que as médias das respostas para as diferentes velocidades diferem de forma significativa ($P= 2,35 \times 10^{-5} < 0,05$).

Devido às reduzidas percentagens de respostas falhadas existentes, a análise de resultados efetuar-se-á tendo em conta apenas a percentagem de respostas correspondentes a atravessamentos, pois, como foi referido anteriormente, a relação entre respostas relativas a não atravessamentos corresponde ao seu inverso, como se pode verificar pela tabela 4.

Para a distância inicial de 10 metros, é de notar que, em ambos os valores das velocidades, o número de respostas correspondentes a não atravessamentos é consideravelmente superior, sendo que este número é, aproximadamente, 1,6 vezes superior ao número de respostas relativas a atravessamentos para a velocidade de 30 km/h e 6,6 vezes superior no que concerne à velocidade de 50 km/h.

Para além disso, o número referente às respostas relativas a atravessamentos é superior para a velocidade de 30 km/h quando comparado com o número do mesmo tipo de resposta para a velocidade de 50 km/h (figura 25). Perante isto, é possível concluir que as velocidades foram percebidas através dos estímulos auditivos, dando a sensação que os participantes se sentiam supostamente mais seguros a efetuar o atravessamento quando os estímulos apresentados correspondiam à velocidade mais baixa de circulação dos veículos.

Verifica-se que o cenário existente para a distância inicial de 15 metros é um pouco diferente daquele que foi verificado na situação anterior. Tendo em conta os valores apresentados na tabela 4, confirma-se que o número de respostas para a velocidade de 30 km/h é bastante próximo para as respostas referentes ao atravessamento e não atravessamento, verificando-se uma pequena superioridade no número de atravessamentos. Para a velocidade de 50 km/h, a situação é idêntica à verificada para a distância inicial de 10 metros, notando-se aumento da percentagem de atravessamentos em 5 pontos percentuais. No que diz respeito à velocidade de 30 km/h, a percentagem de atravessamentos é notoriamente superior à percentagem obtida para a distância inicial de 10 metros, como se pode verificar pela análise da figura 26.

Relativamente às respostas para as diferentes velocidades segundo a distância inicial de 20 metros, nota-se que existe uma continuação daquilo que foi constatado nas duas situações anteriores. É notável um crescimento progressivo do número de respostas referentes à situação

de atravessamento que, no entanto, acontece de forma diferente para as duas velocidades, sendo mais acentuado para a velocidade de 30 km/h onde se verifica um aumento da percentagem de atravessamentos em cerca de 10% conforme entre distâncias. Mais uma vez, este crescimento sugere uma considerável influência da distância a que se encontra o peão do veículo (figura 26).

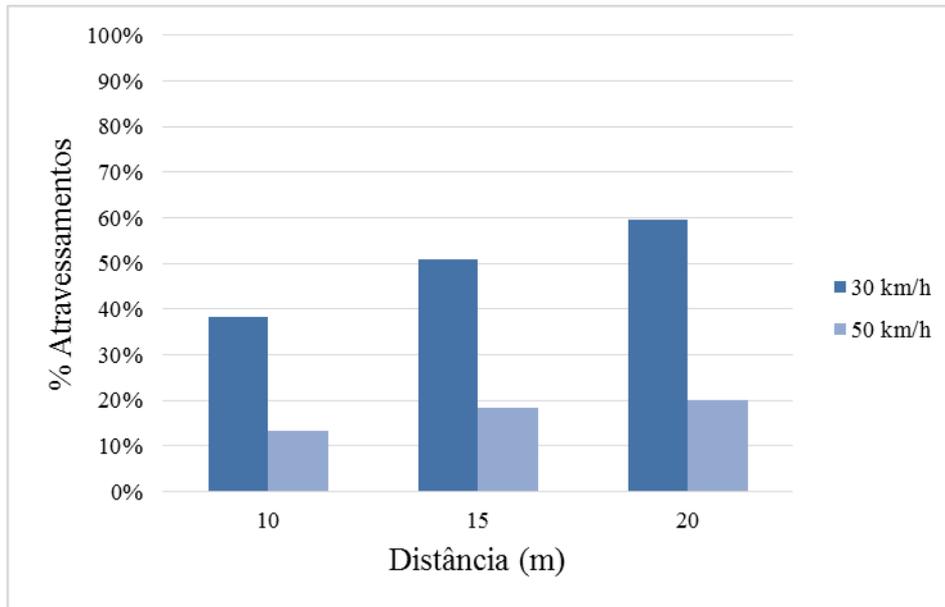


Figura 26 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo as diversas distâncias iniciais para as velocidades de 30 e 50 km/h

Agrupando os dados apresentados na figura 26 segundo cada uma das velocidades (figura 27), clarifica-se a conclusão referida aquando da análise das respostas dadas para os estímulos com uma distância inicial de 10 metros, ou seja, as velocidades foram relativamente bem percebidas pelos participantes, pois a percentagem de respostas alusivas aos atravessamentos nas condições cuja velocidade de circulação dos veículos era de 30 km/h é claramente superior (cerca de 2,9 vezes) à percentagem do mesmo tipo de respostas obtidas para o caso em que a velocidade dos veículos era de 50 km/h. Isto significa que a velocidade a que os veículos se aproximam tem influência na forma como as pessoas avaliam a segurança num atravessamento, sendo bem percebida através dos diferentes tempos de passagem dos veículos.

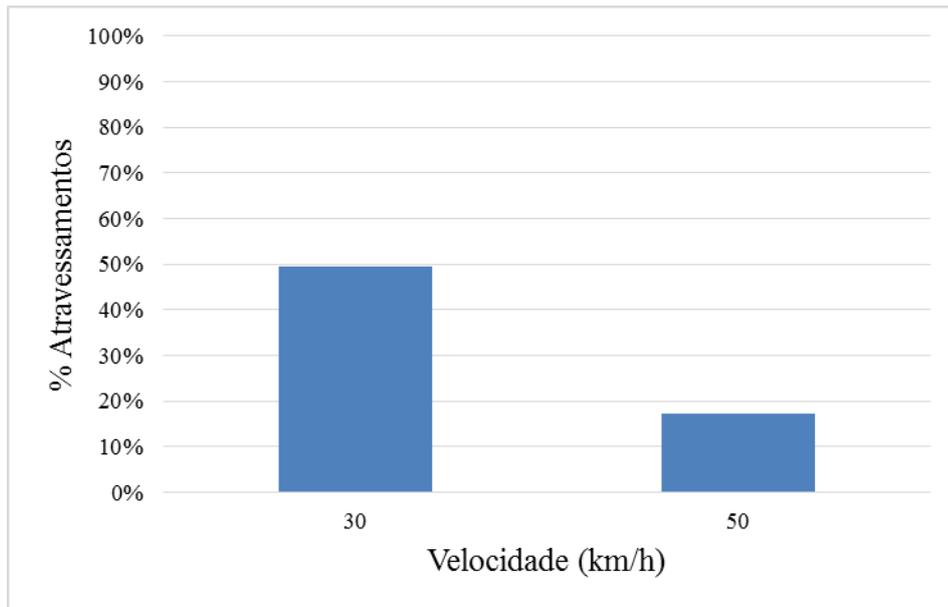


Figura 27 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo cada velocidade

5.2.3. Distância

No que diz respeito à distância a que os veículos se encontravam no instante em que os participantes efetuavam o julgamento, através da realização de uma análise ANOVA concluiu-se que esta variável não tem significância estatística ($P = 0,059 > 0,05$), pelo que se procedeu a uma análise do tipo *t-test* entre pares das diferentes distâncias e se verificou que apenas as médias das respostas para as distâncias de 10 e 20 metros diferem significativamente, isto é, só este par de distâncias é que apresenta significância ($P = 0,011 > 0,05$). De qualquer modo, realiza-se uma análise da influência desta variável na percepção dos diferentes tempos de passagem.

Para a distância inicial de 10 metros (tabela 5) há uma grande discrepância entre a percentagem de atravessamentos e a percentagem de não atravessamentos, sendo o número de não atravessamentos aproximadamente 2,8 vezes superior ao número de atravessamentos. Esta situação era de prever, pois, no instante de julgamento, isto é, passados 0,5 segundos do início do estímulo, a distância virtual a que o veículo se encontrava do participante era de 5,8 metros para os estímulos em que a velocidade do veículo era de 30 km/h e de 3,1 metros para os estímulos em que a velocidade do veículo era de 50 km/h. Naturalmente, com estas distâncias os peões não se sentem seguros para executar a tarefa de atravessamento de uma passagem para peões, mesmo numa tarefa realizada virtual e apenas com recurso a estímulos auditivos.

Tabela 5 - Percentagem dos diferentes tipos de resposta pelas diferentes distâncias iniciais

Distância Inicial (m)	Atravessamentos	Não Atravessamentos	Falhadas
	%	%	%
10	25,8%	74,1%	0,2%
15	34,7%	64,7%	0,7%
20	39,9%	59,2%	0,9%

Apesar de um ligeiro aumento, a percentagem de atravessamentos é bastante inferior à percentagem de não atravessamentos para a distância inicial de 15 metros. Para este caso, a distância virtual a que o veículo se encontrava do participante aquando do julgamento era de 10,8 metros para os estímulos em que a velocidade do veículo era de 30 km/h e de 8,1 metros para os estímulos em que a velocidade do veículo era de 50 km/h. Mesmo tendo aumentado, estas distâncias continuam a ser muito reduzidas, não transmitido qualquer tipo de segurança ao peão na execução da tarefa de atravessamento de uma passagem para peões.

O aumento das respostas referentes a atravessamentos continua quando se analisa as percentagens de cada tipo de resposta referente à distância inicial de 20 metros. Para esta situação, as distâncias dos veículos no momento de julgamento são um pouco superiores às anteriores, passando dos 10,8 e 8,1 metros para os 15,8 e 13,1 metros para as velocidades de 30 e 50 km/h.

Completando, o referido aumento da percentagem de respostas de atravessamentos e consequente diminuição da percentagem de respostas de não atravessamentos é de tal forma regular que permite que se ajuste uma regressão linear com coeficiente de determinação (R^2) bastante próximo da unidade, comprovando-se a existência de uma relação de linearidade entre a percentagem de atravessamentos e as distâncias iniciais dos veículos (figura 28).

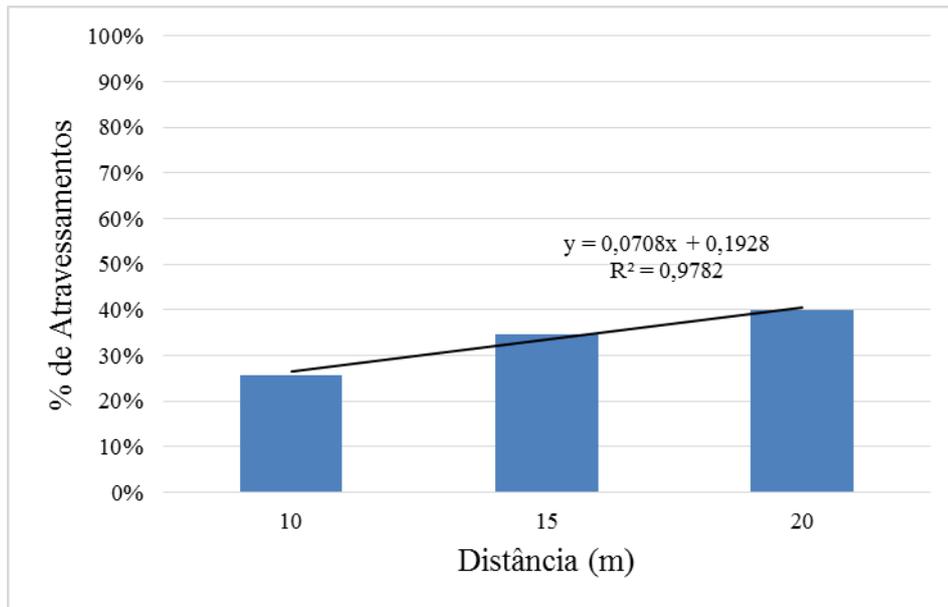


Figura 28 - Comparação de percentagem de atravessamentos segundo as diferentes distâncias iniciais

Com base nesta relação, confirma-se que, apesar da sua não significância estatística, a distância inicial é uma variável bem percebida por parte dos participantes tendo em conta a avaliação dos estímulos auditivos e dos diferentes TTPs. Contudo, tendo em conta as distâncias de paragem necessárias por parte dos veículos segundo dados do IMTT (2010) expostos na figura 9 desta dissertação, para nenhuma das distâncias aquando do instante do julgamento a efetuar por cada participante o condutor teria tempo e espaço para parar o veículo em segurança.

No entanto, para ceder a passagem ao peão o veículo não tem necessariamente que parar, mas se se tiver em conta a velocidade média dos peões discutida no segundo capítulo desta dissertação, 1,2 segundos e a largura da passagem para peões, 3,5 metros, apura-se que o peão necessita de 2,9 segundos para efetuar o atravessamento da via. Tendo tal evidência em consideração, verifica-se que este valor é superior a qualquer um dos tempos de passagem dos veículos utilizado na experiência, pelo que em nenhuma situação era possível efetuar o atravessamento em segurança. Assim sendo, constata-se que as percentagens de respostas relativas a atravessamentos são elevadas, ainda que sejam inferiores às das respostas opostas.

5.2.4. Tipo de pavimento e tipo de som

O tipo de pavimento e o tipo de som são também variáveis com influência na avaliação dos tempos de passagem dos veículos. Esta influência está relacionada com os níveis de ruído provenientes da passagem dos veículos, como será explicado no próximo subcapítulo. Acrescenta-se ainda que ambas as variáveis têm significância do ponto de vista estatístico ($P_{\text{Tipo de Pavimento}} = 2,43 \times 10^{-5} < 0,05$ segundo uma análise ANOVA, e $P_{\text{Tipo de Som}} = 2,15 \times 10^{-6} < 0,05$ segundo um *t-test*).

Pela análise da figura 29, constata-se uma abordagem mais conservativa da globalidade dos participantes para as respostas dadas aos estímulos cujo pavimento correspondia a cubos de granito. Já para os estímulos relativos ao pavimento de betão betuminoso obteve-se percentagens de atravessamentos bastante superiores quer às verificadas para os estímulos referentes à passagem do veículo em cubos de granito, quer às dos estímulos referentes ao pavimento de blocos de cimento. Para cada um dos tipos de pavimento, observa-se numa evolução praticamente linear da percentagem de atravessamentos segundo os tempos de passagem, verificando-se o desfasamento entre a percentagem de atravessamentos para os tempos de passagem referentes à velocidade de 50 km/h (0,72, 1,08 e 1,44 segundos) e a percentagem de atravessamentos para os tempos de passagem referentes à velocidade de 30 km/h (1,20, 1,80 e 2,40 segundos).

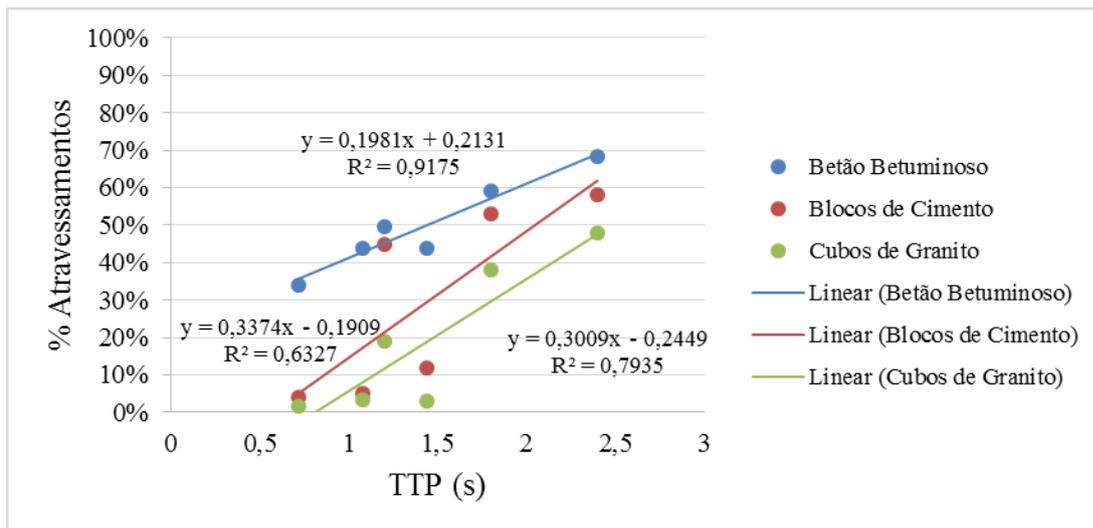


Figura 29 - Percentagem de atravessamentos por TTP segundo os vários tipos de pavimento estudados

Este desfasamento salienta-se mais para os pavimentos de blocos de cimento e cubos, o que leva a concluir que, para estes tipos de pavimento, os participantes conseguem ter uma melhor perceção entre as velocidades dos veículos.

Quanto ao tipo de som, verifica-se pela análise da figura 30 uma diferença substancial entre as percentagens de atravessamentos para estímulos correspondentes a sons virtuais e a sons reais, notando-se uma sobrestimação dos tempos de aproximação dos veículos nos estímulos do primeiro tipo mencionado relativamente aos do segundo tipo. O efeito da velocidade também aqui é visível, principalmente para os estímulos compostos por sons virtuais onde a percentagem de atravessamentos para os tempos de passagem de 1,2, 1,8 e 2,4 segundos, referentes à velocidade de 30 km/h, é muito maior do que a percentagem de atravessamentos para os tempos de passagem referentes à velocidade de 50 km/h. Esta diferença é de tal ordem que faz com que a evolução da percentagem de atravessamentos segundo o tempo de passagem dos veículos seja melhor modelada pelo ajuste de duas retas distintas para os pontos de cada uma das velocidades, ao contrário do que se verifica para o caso dos estímulos compostos por sons reais.

Desta forma conclui-se que, na globalidade, os participantes conseguiram ter uma melhor perceção da diferença entre as velocidades dos veículos nos estímulos compostos por sons virtuais do que nos estímulos compostos por sons reais, porém, os sons virtuais levam a uma maior subestimação do risco do que os sons reais, como se pode ver pela percentagem de atravessamentos.

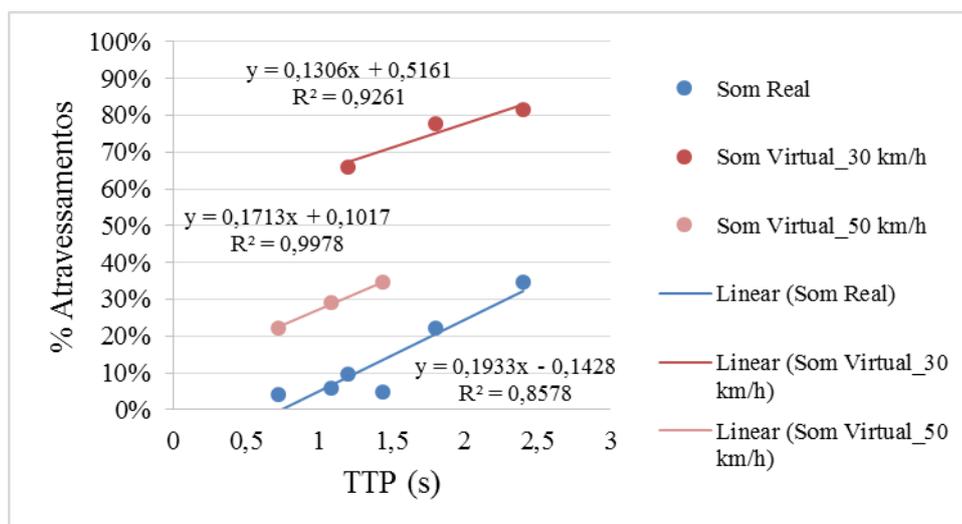


Figura 30 - Percentagem de atravessamentos por TTP segundo sons reais e sons virtuais

Concluindo, as respostas obtidas mostram que a diferença de tempos de passagem dos veículos foi bem percebida através da apresentação dos estímulos sonoros, sendo de salientar a influência da percepção tanto das velocidades como das distâncias dos veículos. No entanto, a avaliação dos diferentes tempos foi mal efetuada, pois verificam-se percentagens de atravessamento relativamente elevadas, visto que em nenhuma das situações avaliadas existia a possibilidade de executar a travessia da passagem para peões em segurança.

5.3. Análise de resultados segundo a influência do ruído rodoviário

Através de estudos já desenvolvidos, sabe-se que as variáveis que maior influência têm no ruído rodoviário são a velocidade, o tipo de pavimento e o som resultante do motor dos veículos (Cunha, 2013). Porém, ainda não é conhecida a influência que o ruído de tráfego rodoviário possa ter na avaliação do risco por parte dos peões.

A relação da velocidade de circulação dos veículos com o ruído de tráfego rodoviário é direta, como se pode ver nas figuras 31, 32 e 33, baseadas nos números apresentados na tabela 1 deste trabalho, onde foram expostos os valores dos indicadores acústicos, como o nível de pressão sonora máxima (L_{max}) e o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), e os valores do indicador psicoacústico, *Loudness*, correspondentes aos sons utilizados na composição dos estímulos auditivos.

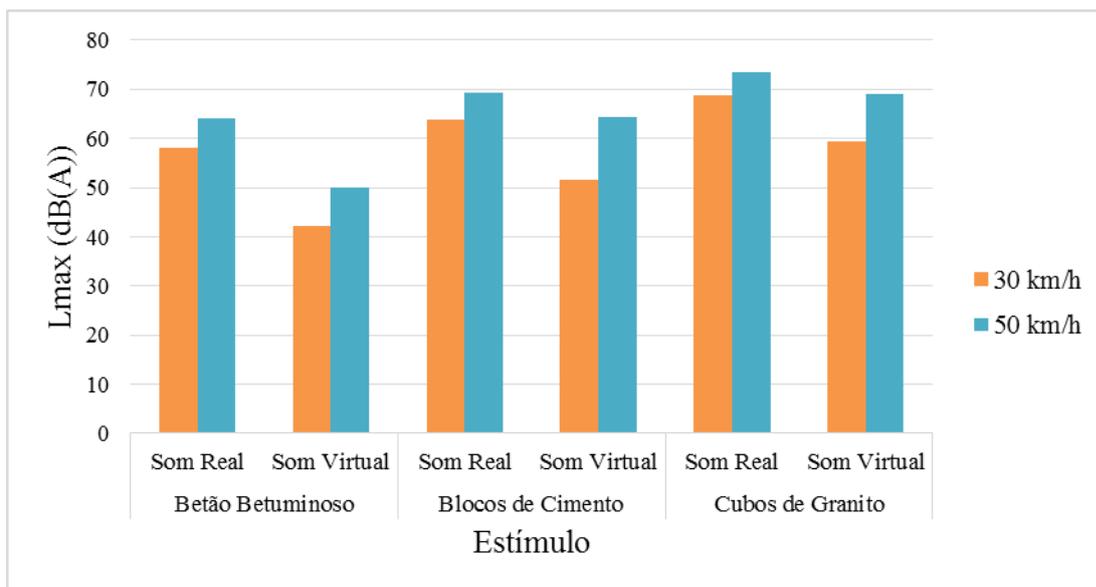


Figura 31 - Comparação do L_{max} entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som

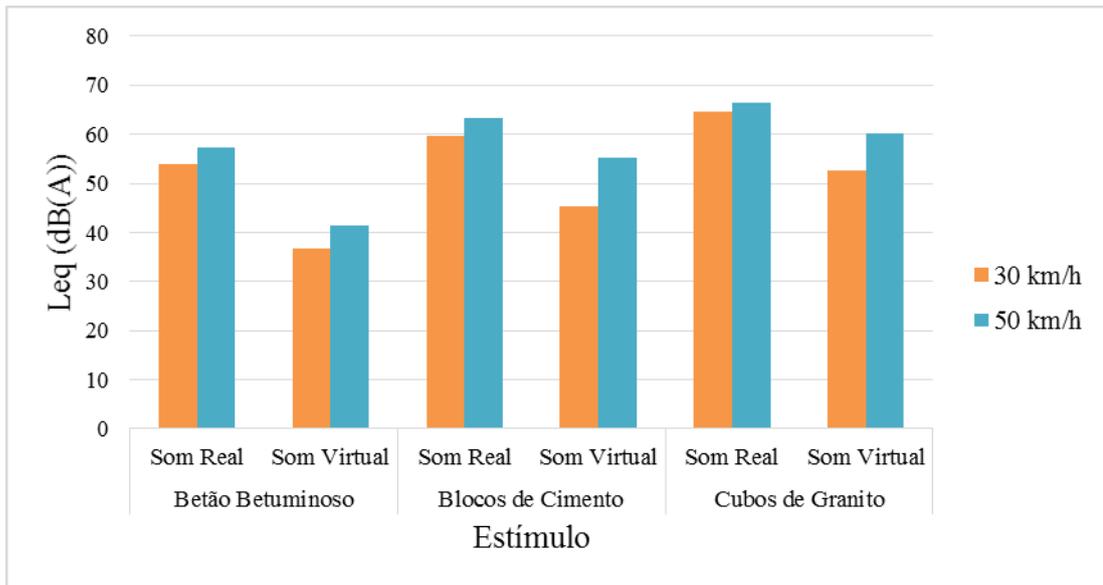


Figura 32 - Comparação do L_{eq} entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som

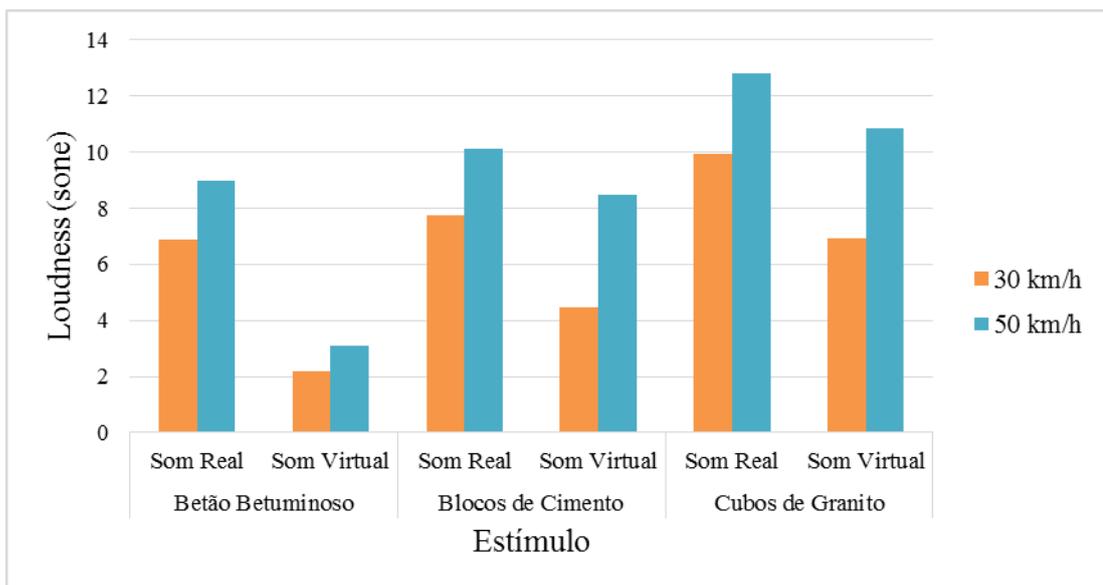


Figura 33 - Comparação do *Loudness* entre as diferentes velocidades consideradas e tendo por base o tipo de pavimento e o tipo de som

É importante referir que os valores obtidos para estes indicadores resultaram da medição dos sons com uma duração de 5 segundos antes de serem manipulados para constituírem os estímulos auditivos apresentados aos participantes na experiência, pelo que servirão apenas como uma base de comparação.

Portanto, segundo o tipo de pavimento, tanto os valores do nível de pressão sonora equivalente e do nível de pressão sonora máxima como do *Loudness* diminuem consoante o aumento da velocidade o tipo de som (reais e virtuais), onde os valores dos indicadores para os sons reais são sempre superiores aos referentes a sons virtuais, para a mesma velocidade e mesmo tipo de pavimento.

Neste contexto e tendo em conta a percentagem de respostas obtidas segundo a velocidade dos veículos (figura 34), nota-se que para cada um dos pavimentos existe uma maior percentagem de atravessamentos nos estímulos compostos por sons virtuais do que para os estímulos compostos por sons reais. Verifica-se também que, para cada uns dos tipos de som (real ou virtual), a percentagem de atravessamentos é sempre superior para a velocidade de 30 km/h, à qual correspondem valores mais baixos dos indicadores acústicos e psicoacústico.

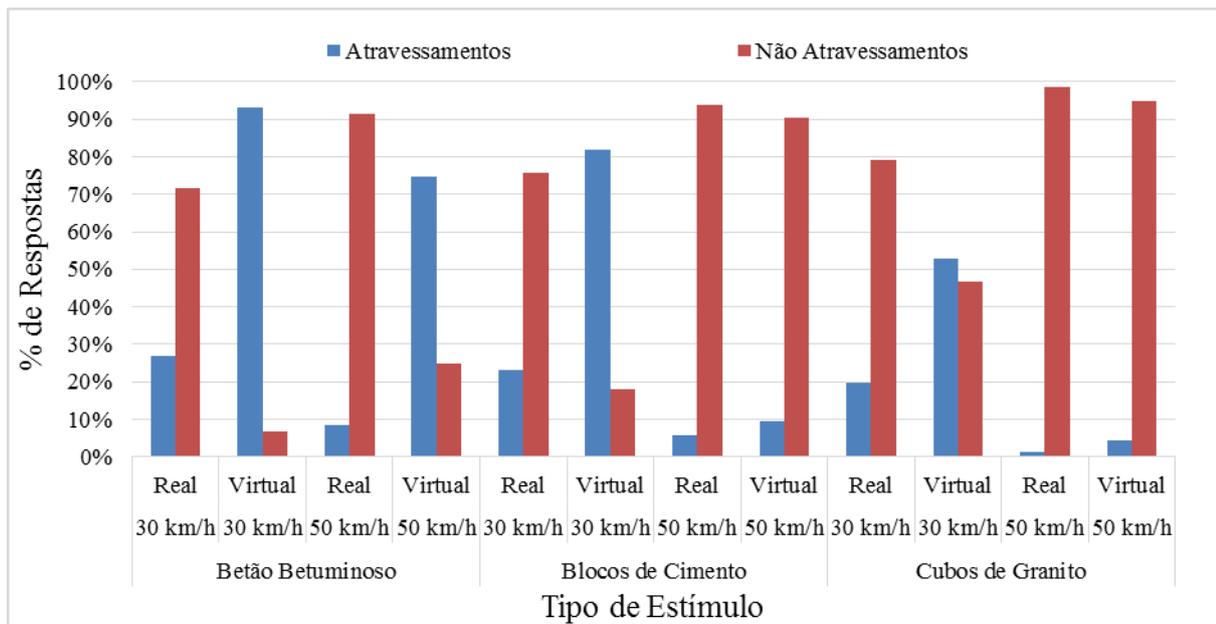


Figura 34 - Percentagem de respostas segundo os diferentes tipos de estímulos auditivos apresentados

Na globalidade, como já pôde ser visto anteriormente, a percentagem de atravessamentos para os estímulos varia com o tipo de pavimento, sendo maior para os estímulos do pavimento de betão betuminoso e menor para os estímulos do pavimento de cubos de granito, com a percentagem de atravessamentos para os estímulos com o pavimento de blocos de cimento pelo meio. Por sua vez, relativamente aos níveis de ruído existe um aumento inversamente

proporcional ao verificado para a percentagem de atravessamentos segundo o tipo de pavimento, isto é, os valores dos indicadores acústicos e psicoacústicos aumentam consoante o tipo de pavimento, sendo menores para os estímulos do pavimento de betão betuminoso e maiores para os estímulos do pavimento de cubos de granito. Assim, é de notar a existência duma relação entre a percentagem de respostas e os valores dos indicadores acima expostos.

Num cômputo geral e tendo em conta a figura 27 apresentada no subcapítulo anterior, para uma velocidade de circulação mais baixa, como é o caso de 30 km/h, os indicadores referidos anteriormente são também mais baixos e a percentagem de atravessamentos é mais elevada (cerca de 50% das respostas para estímulos correspondentes a esta velocidade). Já para a velocidade de 50 km/h, os indicadores acústicos e psicoacústicos são mais elevados e a percentagem de atravessamentos é mais reduzida (cerca de 17% das respostas para estímulos correspondentes a esta velocidade).

Assim, conclui-se que o ruído de tráfego é bastante importante para a perceção do risco por parte dos peões, pelo menos, no que se refere à perceção da velocidade de aproximação dos veículos, notando-se que, para o aumento da velocidade e para o conseqüente aumento do nível de ruído de tráfego, os peões arriscam muito menos numa situação de atravessamento.

Uma outra variável importante é o tipo de som proveniente da circulação dos veículos. O estudo desta variável tem como objetivo a confirmação da importância do ruído do tráfego na perceção do risco por parte dos peões, tendo em conta o ruído emitido pelos motores dos veículos. Pela análise das respostas para os estímulos segundo o tipo de som que os compunham, nota-se que, em todos eles, a percentagem de respostas relativas ao atravessamento é superior para os estímulos referentes aos sons virtuais (figura 35). O contrário se verifica para as respostas relativas ao não atravessamento (figura 36).

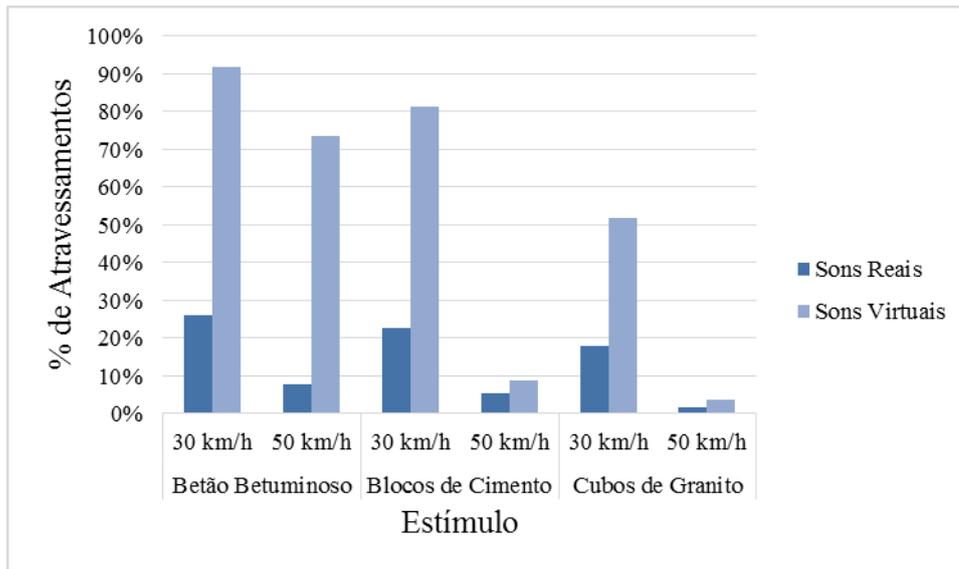


Figura 35 - Comparação da percentagem de atravessamentos entre estímulos com sons reais e sons virtuais por tipo de estímulo

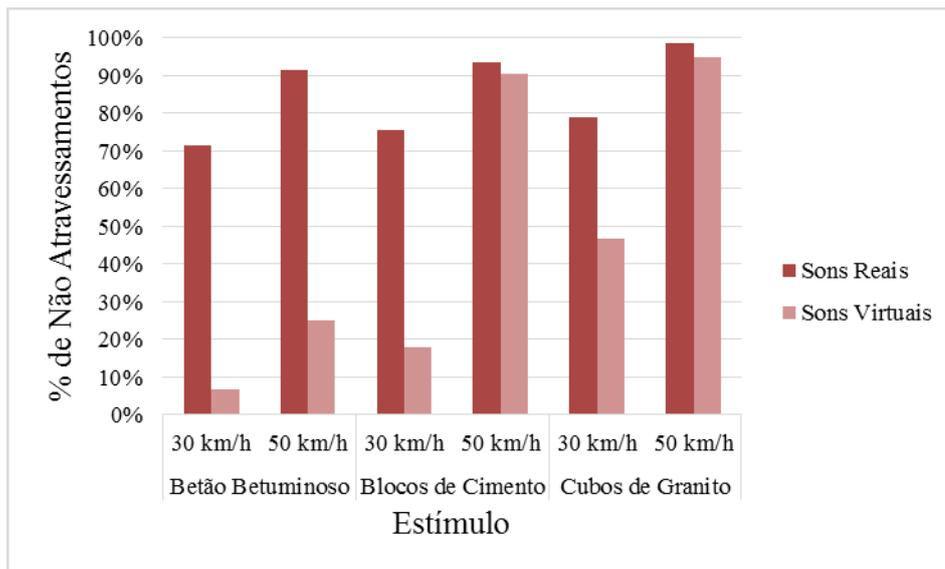


Figura 36 - Comparação da percentagem de não atravessamentos entre estímulos com sons reais e sons virtuais por tipo de estímulo

Tal como a velocidade, os sons reais e sons virtuais estão diretamente relacionados com os níveis de ruído emitidos na apresentação dos estímulos. Como se pode observar nas figuras 37, 38 e 39, também elas baseadas nos números apresentados na tabela 1 deste trabalho, a diferença tanto para os dois indicadores acústicos, L_{max} e L_{eq} , como para o *Loudness*, entre sons reais e

sons virtuais são bastante significativas, sendo até superiores às diferenças verificadas entre as velocidades.

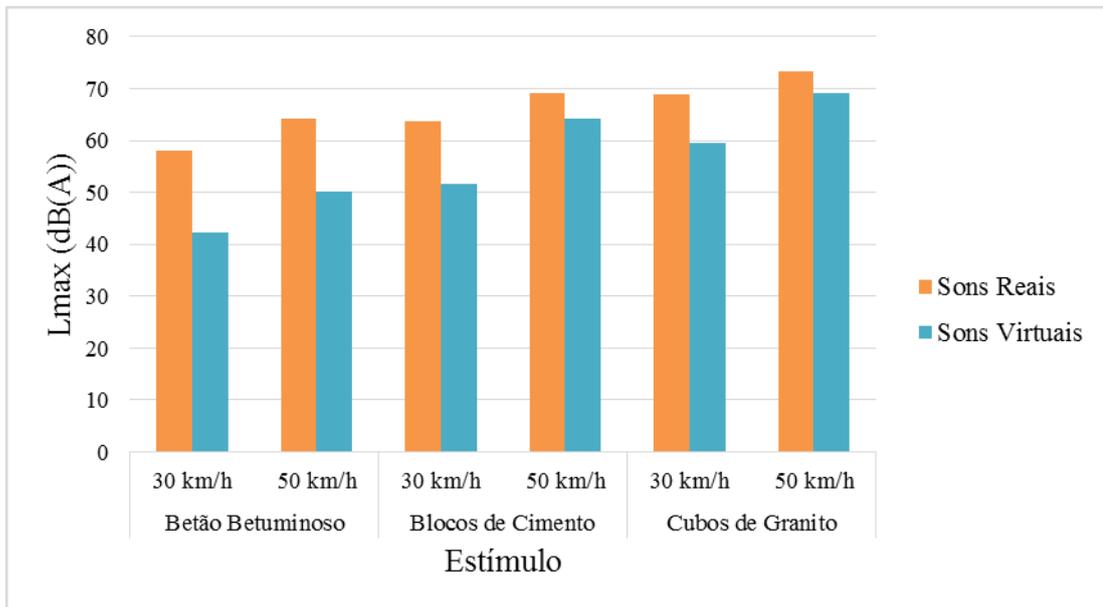


Figura 37 - Comparação do L_{max} entre os sons reais e os sons virtuais

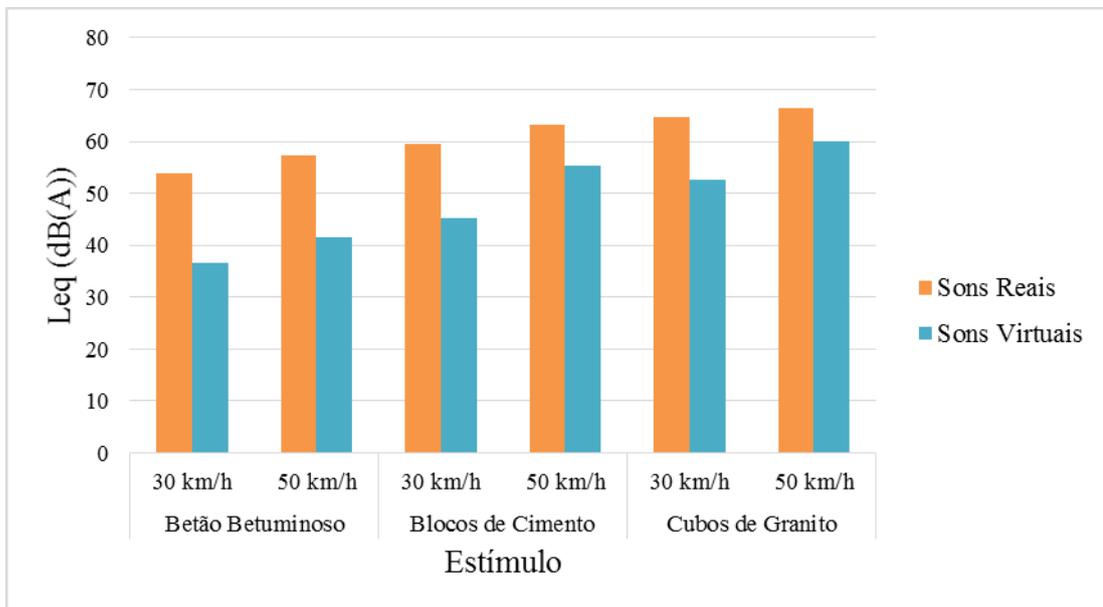


Figura 38 - Comparação do L_{eq} entre os sons reais e os sons virtuais

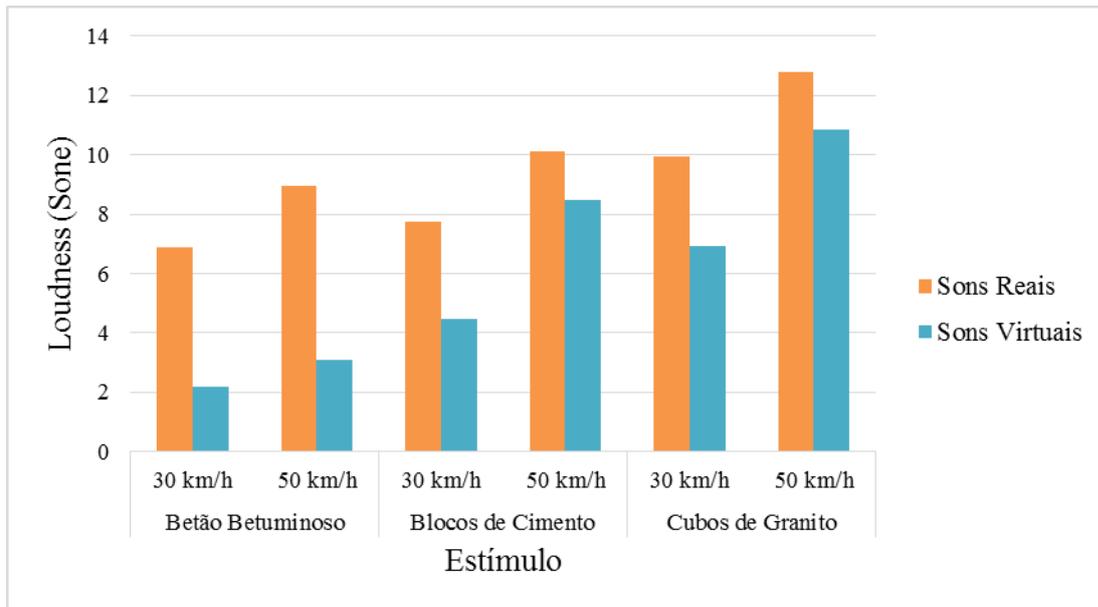


Figura 39 - Comparação do *Loudness* entre os sons reais e os sons virtuais

Desta forma, mais uma vez se confirma a importância que o ruído rodoviário tem na percepção do risco por parte dos peões. De forma global, o número de não atravessamentos registados face a sons reais é superior ao número de não atravessamentos registado para os sons virtuais cerca de 1,8 vezes (figura 40).

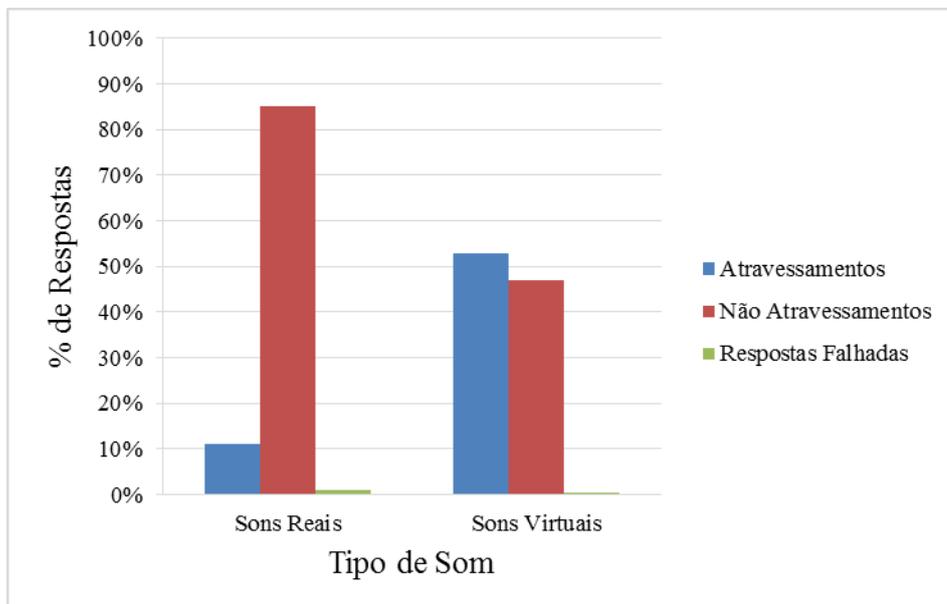


Figura 40 - Comparação de percentagem da globalidade das respostas de cada tipo segundo os diferentes sons

Assim sendo, destaca-se aqui a importância que o ruído dos motores dos veículos desempenha na segurança dos peões. Uma vez que atualmente os veículos de tração elétrica, providos de motores que produzem baixíssimos níveis de ruído, vão ganhando importância devido às suas conhecidas vantagens, é necessário ter em consideração o impacto que eles possam vir a ter na segurança rodoviária, principalmente no que concerne aos peões.

Por último, o tipo de pavimento é uma variável que, para além de influenciar as condições de aderência dos veículos, influencia também os níveis de ruído rodoviário. No entanto, para as respostas dadas, apenas o nível de ruído emitido correspondente a cada um dos tipos de pavimento estudados teve influência, pois, os participantes não tiveram qualquer informação sobre quais os diferentes pavimentos abordados que lhes permitissem fazer uma avaliação das condições de aderência. Desta forma, pela análise da figura 41 e tendo como referência a tabela 1 e as figuras 37, 38 e 39, verifica-se que, para os pavimentos mais ruidosos, isto é, para o pavimento de blocos de cimento e de cubos de granito, a percentagem de não atravessamentos foi bastante superior à percentagem de atravessamentos ao contrário do que aconteceu para o pavimento de betão betuminoso, onde se verifica uma maior percentagem do número de atravessamentos em comparação à situação oposta, apesar de se notar um considerado equilíbrio entre os dois tipos de resposta.

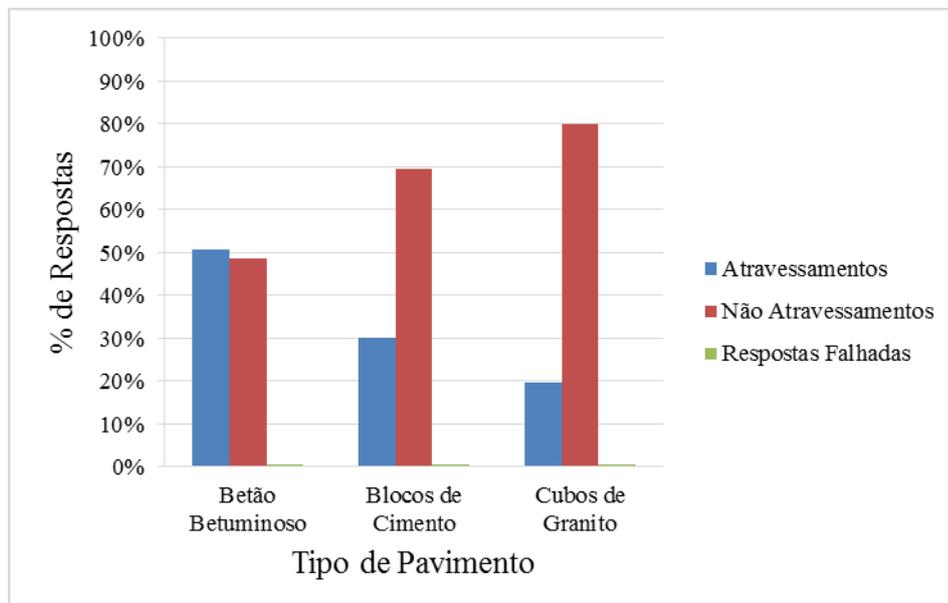


Figura 41 - Comparação da percentagem de cada tipo de resposta entre estímulos segundo cada um dos tipos de pavimento estudados

Os resultados obtidos permitem concluir que o tipo de pavimento é um parâmetro com grande importância no que concerne à percepção da aproximação de um veículo em marcha por parte dos peões. Contudo, o facto de um determinado pavimento ser mais ruidoso não significa que haja maior segurança para os peões, isto porque, como se constata no terceiro capítulo desta dissertação, as condições de aderência assumem bastante importância neste tema, uma vez que compõem uma parcela influente nas distâncias necessárias para a travagem dos veículos que, por seu turno, têm bastante peso nas questões e problemas associados à temática da segurança rodoviária.

Resumidamente, é notória a influência dos níveis de ruído de tráfego na percepção do risco por parte dos peões na situação de atravessamento de uma passagem para peões. Contudo, não pode ser desprezada a velocidade dos veículos que, para além de contribuir para o ruído proveniente do tráfego automóvel, influencia o julgamento dos peões por si só, como se pôde verificar anteriormente.

Distinguindo as percentagens de atravessamentos, é possível confirmar que, tanto para sons reais como para sons virtuais, existe uma relação linear relativamente bem ajustada entre estas e o nível de ruído produzido pela circulação de um veículo, representado pelo nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), nas figuras 42 e 43, e pelo *Loudness*, nas figuras 44 e 45.

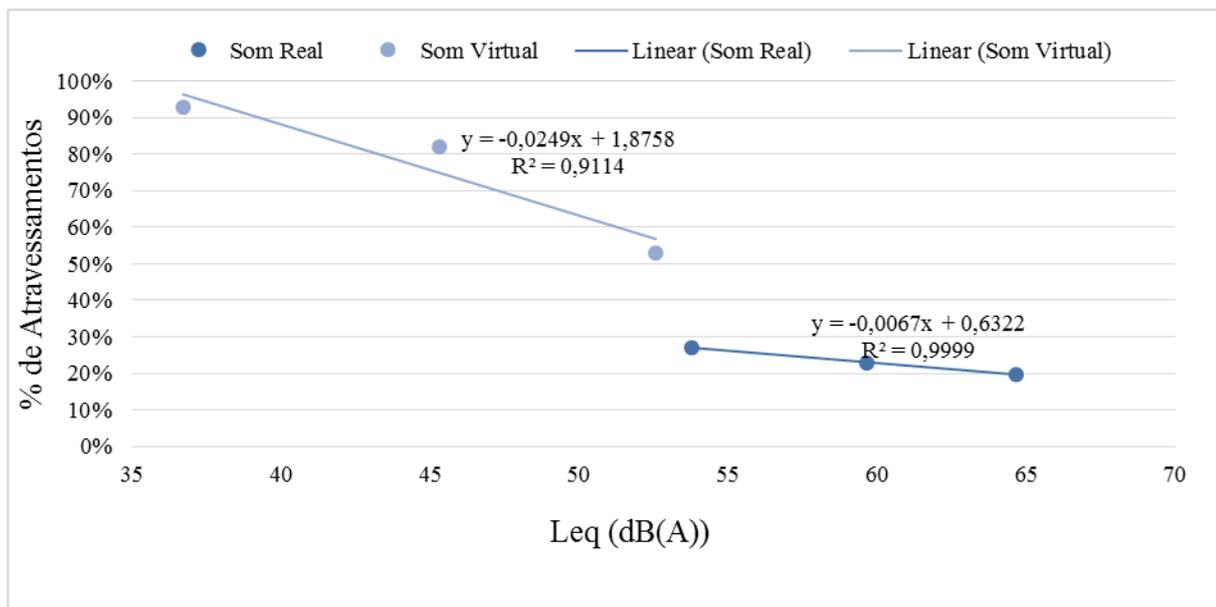


Figura 42 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o nível de pressão sonora equivalente para os sons relativos à velocidade de 30 km/h

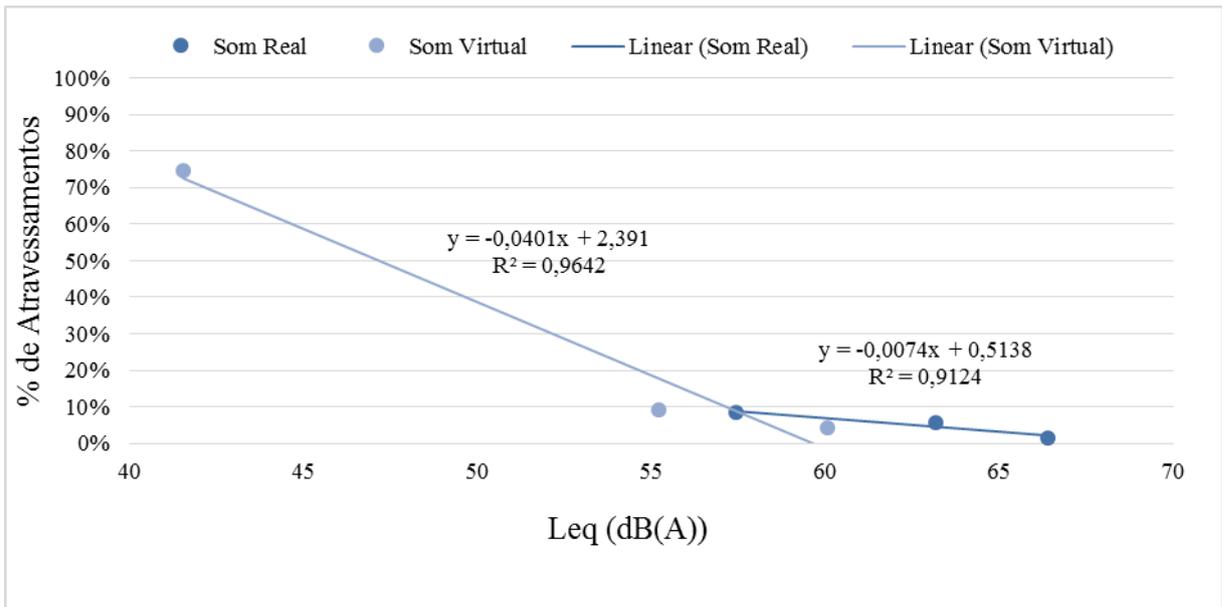


Figura 43 - Relação entre a porcentagem de atravessamentos e o nível de pressão sonora equivalente para os sons relativos à velocidade de 50 km/h

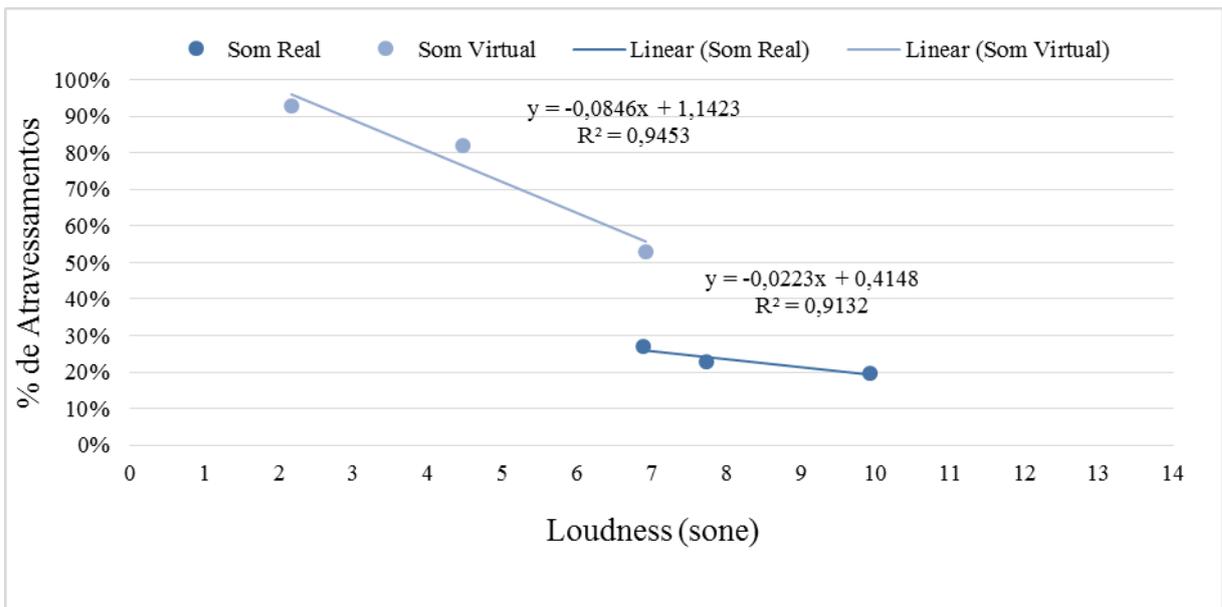


Figura 44 - Relação entre a porcentagem de atravessamentos e o Loudness para os sons relativos à velocidade de 30 km/h

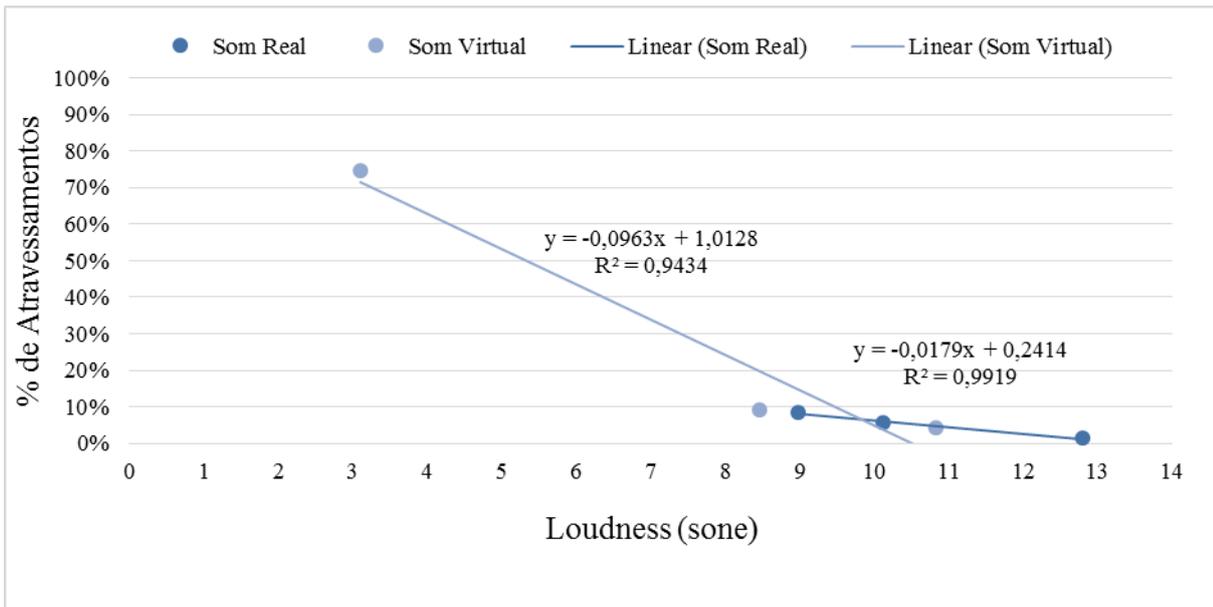


Figura 45 - Relação entre a percentagem de atravessamentos e o *Loudness* para os sons relativos à velocidade de 50 km/h

Para as diferentes velocidades e indicadores, é de notar que o declive da reta de ajuste para os sons virtuais é consideravelmente superior ao declive da reta de ajuste para os sons reais fazendo sobressair ainda mais a importância do nível de ruído na percepção do risco por parte dos participantes nas experiências realizadas.

6. CONCLUSÕES

6.1. Conclusões gerais

A avaliação do risco é uma temática que apresenta conceitos de grande complexidade, que divergem consoante a área de aplicação e que mesmo dentro de cada uma delas vão sofrendo alterações com o passar do tempo. No âmbito da segurança rodoviária, o processo de avaliação do risco requer o conhecimento de dois importantes conceitos: o de risco e o de exposição. O primeiro é definido como uma proporção de eventos que resulta em acidente, e o segundo consiste nos eventos/acontecimentos que podem dar origem a esses acidentes. Nota-se então que, para quantificar o nível de risco relativo a um determinado evento, é necessário quantificar previamente o nível de exposição associado. No fundo, a quantificação do nível de risco consiste, por si só, numa quantificação do nível de segurança associado a um evento, onde através de acontecimentos registados no passado se calcula a probabilidade de ocorrência de acidentes num determinado local e em determinado tempo.

Em suma, tendo em conta o descrito no parágrafo anterior e a caracterização dos três tipos de métodos de avaliação do risco existentes (métodos de avaliação qualitativa, métodos de avaliação semi-quantitativa e métodos de avaliação quantitativa), conclui-se que apenas um deles tem aplicação no âmbito da segurança rodoviária: os métodos de avaliação quantitativa. Este tipo de métodos quantifica o que pode acontecer, atribuindo um valor à probabilidade de uma dada ocorrência e à severidade dos seus efeitos, com recurso a técnicas de cálculo complexas. Para tal, é necessária uma base de dados abrangente e consistente que pode ser construída tendo por base diversas técnicas, das quais se destaca a recolha de dados com recurso à simulação em ambientes virtuais. Esta técnica assenta numa recolha de dados “limpos”, isto é, sem que haja exposição a qualquer situação de risco real e permite uma obtenção de dados completa que, por sua vez, permitem determinar a influência dos diversos fatores relacionados com o risco.

Contudo, a medição do risco de exposição dos peões a acidentes não é uma tarefa fácil. Explicar e prever o comportamento dos peões é um tópico que, apesar de ser importante, é ainda complexo, para o qual a contribuição disponível na literatura está muito limitada. A construção de um modelo de previsão do risco para peões requer um conhecimento aprofundado sobre as características que os definem, bem como de todos os fatores que possam influenciar o risco de

acidentes e, dessa forma, ter peso na sua quantificação. Desses fatores destacam-se três grupos: os fatores associados às características do peão, os fatores associados às características do tráfego rodoviário e os fatores associados às características da estrada e da envolvente física e ambiental. No entanto, através da literatura, não se pode concluir que haja um grupo com maior peso do que outro no que diz respeito à influência do risco para peões, pois não existe nenhum estudo que os englobe a todos de forma completa.

Nesta dissertação, pela exigência de demasiado tempo e excessivos recursos que o estudo de todos os fatores pertencentes aos grupos enunciados requeria, optou-se por se estudar a influência do ruído proveniente do tráfego rodoviário, e, complementarmente, das variáveis que para ele contribuem, na perceção do risco por parte dos peões. Os resultados da experiência realizada em ambiente virtual com recurso, somente, à apresentação de estímulos auditivos superaram as expectativas iniciais, os dados obtidos foram bastante consistentes, como ficou provado pela análise estatística das diversas variáveis, havendo a exceção da distância inicial, que mostra o peso que as variáveis relacionadas com o ruído têm no julgamento feito por parte dos peões.

Apesar dos tempos de passagem dos veículos não permitirem, em nenhuma situação, a realização do atravessamento em segurança, através das percentagens de atravessamentos, notou-se que os participantes os conseguiam perceber as diferenças entre elas. Sendo que, quanto maior era o tempo de passagem do veículo, maior era a percentagem de atravessamentos, excetuando-se uma situação que permitiu provar que os participantes davam maior importância à velocidade dos veículos do que à sua distância inicial na avaliação da segurança para a realização do atravessamento. No entanto, tal facto não significou que a avaliação desses tempos tenha sido bem efetuada, uma vez que a possibilidade da execução do atravessamento em segurança era nula.

Verificou-se também, que a percentagem de atravessamentos segundo os diferentes tempos de passagem dos veículos era diferente consoante o tipo de pavimento ou o tipo de som, real ou virtual, que compunha os estímulos auditivos. Relativamente ao tipo de pavimento, verificou-se que as maiores percentagens de atravessamentos obtidas foram para estímulos referentes ao pavimento de betão betuminoso e, contrariamente, as menores percentagens de atravessamentos obtidas foram para estímulos referentes ao pavimento de cubos de granito. Já para os tipos de sons utilizados, os participantes conseguiram ter uma melhor perceção da diferença entre as

velocidades dos veículos nos estímulos compostos por sons virtuais do que nos estímulos compostos por sons reais, contudo, através das elevadas percentagens de atravessamentos, existe uma maior subestimação do risco por parte dos participantes nos estímulos compostos por sons virtuais que nos compostos sons reais.

Quanto à influência do ruído, desde logo esta foi notada. Mesmo durante a análise dos resultados segundo os tempos de passagem dos veículos já se verificava uma influência das variáveis como o tipo de pavimento e o tipo de som. Por conseguinte, posteriormente constatou-se que as percentagens de atravessamentos decresciam linearmente com o aumento tanto do nível de pressão equivalente como do *Loudness*. Desta forma, ficou provado que, apesar de todos os inconvenientes que o ruído proveniente do tráfego rodoviário possa ter, no que diz respeito à segurança dos peões, este desempenha um papel relevante, ajudando os peões na percepção das condições de segurança que o envolvem.

6.2. Desenvolvimentos futuros

O trabalho desenvolvido na presente dissertação serve como ponto de partida para um futuro estudo mais completo a desenvolver sobre a avaliação do risco para os peões. Aqui, desenvolveram-se as bases, do ponto de vista teórico, para aquilo que um estudo no âmbito da segurança para peões requer: desenvolveu-se o conhecimento sobre as metodologias de avaliação do risco para peões, bem como dos métodos de aquisição de dados para tal avaliação e estudaram-se os conceitos que envolvem esta temática, bem como os fatores que dos quais o risco dos peões dependem.

Para o futuro, prevê-se um aprofundamento e melhoramento do conhecimento sobre esta temática que é a segurança para peões com o objetivo de explorar as lacunas encontradas na literatura, desenvolver modelos novos e melhorados que descrevam a interação peão-veículo em travessias, abordando o comportamento dos peões em travessias, com base em ensaios de campo e em experiências controladas a realizar em ambientes simulados virtuais utilizando também a componente visual para além da componente auditiva. Os modelos a desenvolver irão descrever o risco de acidente entre o peão e o veículo tendo em conta todos os fatores abordados nesta dissertação e terão como objetivo o desenvolvimento de medidas educativas e de atenuação do número de acidentes existentes entre os referidos utilizadores da rede viária, promovendo assim a segurança rodoviária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Madani, H. & Al-Janahi, A. (2006). Personal exposure risk factors in pedestrian accidents in Bahrain. *Safety science*, 44(4), 335-347.
- Anfosso-Lédée, F. (2004). Modeling the local propagation effects of tire-road noise: propagation filter between CPX and CPB measurements. Paper presented at the INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings.
- ANSR, Autoridade Nacional Segurança Rodoviária. (2013). Relatório Nacional Anual 2013 - Vítimas a 30 dias: Autoridade Nacional Segurança Rodoviária.
- ANSR, Autoridade Nacional Segurança Rodoviária. (2015). Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária - Ano de 2014
- Antunes, M. L., Coutinho, A. S., Patrício, J., Freitas, Elisabete F., Paulo, J., Coelho, J. L. & Cardoso, F. T. (2008). Avaliação do ruído de tráfego: metodologia para a caracterização de camadas de desgaste aplicadas em Portugal. Paper presented at the Seminar "Evaluation of Pavement Surface Characteristics".
- Arezes, Pedro Miguel Ferreira Martins. (2002). Percepção do risco de exposição ocupacional ao ruído. (Tese de Doutoramento), Universidade do Minho.
- AUSTROADS. (1988). Guide to Traffic Engineering Practice: Pedestrians: Standards Association of Australia; National Association of Australian State Road Authorities.
- Babisch, Wolfgang. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise and Health*, 10(38), 27.
- Bart, O., Katz, N., Weiss, P. L. & Josman, N. (2006). Street Crossing by Typically Developed Children in Real and Virtual Environments. Paper presented at the Virtual Rehabilitation, 2006 International Workshop on.
- Beer, Tom & Ziolkowski, Frank. (1995). Environmental risk assessment: an Australian perspective. *Supervising Scientist Report* 102.
- Benekos, Ioannis & Toniolos, Panagis. (2010). How Does Social Acceptance of Risks and Their Perception Influence Risk Management on Road Operations? *Routes/Roads*(346).
- Bly, Philip, Dix, Martin & Stephenson, Carry. (1999). Comparative study of European child pedestrian exposure and accidents.
- Brown, Anthony. (1998). Análise de risco. *Boletim técnico*, São Paulo ano III(01), 01-07.
- Brown, R. J. (1981). Method for determining the accident potential of an intersection. *Traffic engineering and control*, 22(12), 648-651.
- Cabral, Fernando. (2010). *Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho*. 39ª Edição, 1.

- Carneiro, Francisco Claro da Silva. (2011). Avaliação de riscos: Aplicação a um processo de construção. (Dissertação de Mestrado), Universidade de Aveiro.
- Carvalho, Filipa Catarina Vasconcelos da Silva Pinto Marto. (2007). Avaliação de Risco. Estudo comparativo entre diferentes métodos de Avaliação de Risco em situação real de trabalho. (Dissertação de Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa.
- Chakravarthy, Bharath, Anderson, Craig L, Ludlow, John, Lotfipour, Shahram & Vaca, Federico E. (2010). The relationship of pedestrian injuries to socioeconomic characteristics in a large Southern California County. *Traffic injury prevention*, 11(5), 508-513.
- Chapman, Roger. (1973). The concept of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 5(2), 95-110.
- Chipman, Mary L. (1982). The role of exposure, experience and demerit point levels in the risk of collision. *Accident Analysis & Prevention*, 14(6), 475-483.
- Chu, Xuehao. (2006). Pedestrian safety at midblock locations.
- Clifton, Kelly J & Livi, Andrea D. (2005). Gender differences in walking behavior, attitudes about walking, and perceptions of the environment in three Maryland communities. *Research on women's issues in transportation*, 2.
- Coelho, Margarida Maria Matos. (2011). Os peões e a mobilidade urbana. (Dissertação de Mestrado), Instituto Politécnico de Lisboa.
- Comissão Europeia, CE. (2014). Mobility and Transport, Road Safety. Retrieved 16/02/2015, from http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pedestrians/index_en.htm
- Cooper, Dale F. & Chapman, Chris B. (1987). Risk analysis for large projects: models, methods, and cases: John Wiley & Sons Inc.
- Cunha, Catarina Araújo Cupertino da. (2013). Perceção de ruído de tráfego rodoviário. (Dissertação de Mestrado), Universidade do Minho.
- Cunha, Catarina Araújo Cupertino da, Lopes, Sara, Lamas, João, Freitas, Elisabete & Santos, Jorge Almeida. (2014). Detection and Perception of Road Traffic Noise. Paper presented at the Auralisation Models & Applications Workshop.
- Daff, R., Cramphorn, B., Wilson, C. J. & Neylan, J. (1991). Pedestrian behaviour near signalised crossings (Sydney). Paper presented at the Proceedings 16th ARRB conference, part.

- Dandona, Rakhi, Kumar, G. Anil, Ameer, Abdul, Ahmed, G. Mushtaq & Dandona, Lalit. (2008). Incidence and burden of road traffic injuries in urban India. *Injury prevention*, 14(6), 354-359.
- Dommès, Aurelie & Cavallo, Viola. (2011). The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic and physiological optics*, 31(3), 292-301.
- Elvik, Rune. (2014). Towards a General Theory of the Relationship Between Exposure and Risk Report 1316. Oslo: Institute of Transport Economics.
- Elvik, Rune. (2015). Some implications of an event-based definition of exposure to the risk of road accident. *Accident Analysis & Prevention*, 76, 15-24.
- Elvik, Rune, Erke, Alena & Christensen, Peter. (2009). Elementary units of exposure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2103(1), 25-31.
- Elvik, Rune, Sørensen, Michael W. J. & Nævestad, Tor-Olav. (2013). Factors influencing safety in a sample of marked pedestrian crossings selected for safety inspections in the city of Oslo. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 64-70.
- Ferreira, Sara & Couto, António. (2012). Categorical modeling to evaluate road safety at the planning level. *Journal of Transportation Safety & Security*, 4(4), 308-322.
- Fletcher, Harvey & Munson, Wilden A. (1933). Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*. *Bell System Technical Journal*, 12(4), 377-430.
- Foldvary, L. A. (1975). Road accident involvement per miles travelled, Part II. *Accident Analysis & Prevention*, 7(3), 191-205.
- Fontes, André Cerejeira, Oliveira, M. M., Ramos, Rui A. R., Ribeiro, Paulo & Mendes, José F. G. (2010). Qualidade pedonal urbana: o caso de Guimarães.
- Freitas, Elisabete F & Pereira, Paulo AA. (2013). Definição e características de superfícies de baixo ruído. Paper presented at the 7º Congresso Rodoviário Português.
- Fruin, J. J. (1971). Service pedestrian planning and design. MAUDEP, Elevator World Educational Services Division, Mobile, Alabama.
- Gårder, Per. (1989). Pedestrian safety at traffic signals: a study carried out with the help of a traffic conflicts technique. *Accident Analysis & Prevention*, 21(5), 435-444.
- Granie, Marie-Axelle, Brenac, Thierry, Montel, Marie-Claude, Millot, Marine & Coquelet, Cécile. (2014). Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, 67, 75-85.

- Gupta, Ankit & Pundir, Nitin. (2015). Pedestrian Flow Characteristics Studies: A Review. *Transport Reviews*, 1-21.
- Hakkert, A. Shalom, Braimaister, L. & Van Schagen, I. (2002). The uses of exposure and risk in road safety studies: SWOV, Institute for Road Safety Research.
- Hamed, Mohammed M. (2001). Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63-82.
- Hauer, Ezra. (1982). Traffic conflicts and exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 14(5), 359-364.
- Hí, Martha C., Kraus, Jess F, Tovar, Víctor & Carrillo, Carlos. (2001). Analysis of fatal pedestrian injuries in Mexico City, 1994–1997. *Injury*, 32(4), 279-284.
- Hopkin, Paul. (2014). *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*: Kogan Page Publishers.
- HSE, Health and Safety Executive. (2014). *Risk assessment-A brief guide to controlling risks in the workplace*.
- IMTT, Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. (2010). *Distâncias de Segurança MANUAL DA QUALIDADE DE SERVIÇOS: Ensino da Condução*.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2010). *Estatísticas dos Transportes 2009*. Lisboa.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2011). *Estatísticas dos Transportes 2010*. Lisboa.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Estatísticas dos Transportes 2011*. Lisboa.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2013). *Estatísticas dos Transportes 2012*. Lisboa.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2014). *Estatísticas dos Transportes 2013*. Lisboa.
- INIR, Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias. *Marcas Rodoviárias. Características Dimensionais. Critérios de Utilização e Colocação*.
- Ishaque, Muhammad Moazzam & Noland, Robert B. (2008). Behavioural issues in pedestrian speed choice and street crossing behaviour: a review. *Transport Reviews*, 28(1), 61-85.
- Jabben, Jan, Verheijen, Edwin & Potma, Charlos. (2012). Noise reduction by electric vehicles in the Netherlands. Paper presented at the Inter. noise.
- Jamroz, Kazimierz, Budzyński, Marcin, Kustra, Wojciech, Michalski, Lech & Gaca, Stanislaw. (2014). *Tools for Road Infrastructure Safety Management – Polish Experiences*. *Transportation Research Procedia*, 3(0), 730-739.
- Job, RF Soames. (1996). The influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise. *Environment International*, 22(1), 93-104.
- Jovanis, Paul P. & Chang, Hsin-Li. (1986). Modeling the relationship of accidents to miles traveled. *Transportation Research Record*, 1068, 42-51.

- Keall, Michael D. (1995). Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 729-740.
- Khatoon, Mariya, Tiwari, Geetam & Chatterjee, Niladri. (2013). Impact of grade separator on pedestrian risk taking behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 861-870.
- Kong, Chunyu & Yang, Jikuang. (2010). Logistic regression analysis of pedestrian casualty risk in passenger vehicle collisions in China. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 987-993.
- Lassarre, Sylvain, Papadimitriou, Eleonora, Yannis, George & Golias, John. (2007). Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1226-1238.
- Leden, Lars. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4), 457-464.
- Lima, André Carvalho. (2014). Os peões no contexto da mobilidade urbana. (Dissertação de Mestrado), Universidade do Porto.
- Liu, Yung-Ching & Tung, Ying-Chan. (2014). Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed. *Safety Science*, 63, 77-82.
- Lubbe, Nils & Rosén, Erik. (2014). Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing. *Accident Analysis & Prevention*, 71, 261-266.
- Martin, Allison. (2006). Factors influencing pedestrian safety: a literature review: TRL.
- Merkhofer, M. W. (1993). Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks: Springer Science & Business Media.
- Moniz, Carla Sofia Martins. (2007). O congestionamento de intersecções e o uso de vias individualizadas dinâmicas (Dissertação de Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa.
- NP4397:2008. Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde - especificações: IPQ - Instituto Português da Qualidade.
- Oxley, Jennifer A., Ihsen, Elfriede, Fildes, Brian N., Charlton, Judith L. & Day, Ross H. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 962-971.
- Paefgen, Johannes, Staake, Thorsten & Fleisch, Elgar. (2014). Multivariate exposure modeling of accident risk: Insights from Pay-as-you-drive insurance data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 27-40.

- Papadimitriou, Eleonora. (2012). Theory and models of pedestrian crossing behaviour along urban trips. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(1), 75-94.
- Papadimitriou, Eleonora, Yannis, George & Golias, John. (2010). Theoretical Framework for Modeling Pedestrians' Crossing Behavior along a Trip. *Journal of Transportation Engineering*, 136(10), 914-924.
- Pawar, Digvijay S. & Patil, Gopal R. (2014). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world. *Journal of Safety Research*.
- Pita, Francisco José Simões Crespo Vieira. (2003). Estratégias e planeamento da mobilidade e segurança de peões. (Dissertação de Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa.
- Preston, Barbara. (1989). Behaviour and safety of pedestrians at pelican crossings in Greater Manchester. *Traffic engineering and control*, 30(12), 596-599.
- Rivara, Frederick P. & Barber, Melvin. (1985). Demographic analysis of childhood pedestrian injuries. *Pediatrics*, 76(3), 375-381.
- Roberts, I., Norton, R., Jackson, R., Dunn, Robert & Hassall, I. (1995). Effect of environmental factors on risk of injury of child pedestrians by motor vehicles: a case-control study. *Accident Analysis & Prevention*, 310(6972), 91-94.
- Roess, Roger P., Prassas, Elena S. & McShane, William R. (2004). *Traffic engineering: Pearson/Prentice Hall*.
- Rosen, Erik, Stigson, Helena & Sander, Ulrich. (2011). Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 25-33.
- Savino, Mark R. (2009). Standardized names and definitions for driving performance measures. TUFTS UNIVERSITY.
- Schwebel, David C., Gaines, Joanna & Severson, Joan. (2008). Validation of virtual reality as a tool to understand and prevent child pedestrian injury. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1394-1400.
- Schwebel, David C., Stavrinos, Despina, Byington, Katherine W., Davis, Tiffany, O'Neal, Elizabeth E. & de Jong, Desiree. (2012). Distraction and pedestrian safety: how talking on the phone, texting, and listening to music impact crossing the street. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 266-271.
- Seco, A., Macedo, J. & Costa, A. (2008). Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Peões: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

- Semião, Venâncio Manuel Floro. (2008). A Importância dos Espaços Públicos Pedonais na Revitalização dos Centros Históricos: A Baixa de Lisboa. (Dissertação de Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa.
- Serag, M. S. (2010). Modelling pedestrian road crossing at uncontrolled mid-block locations in developing countries.
- Seward, A. Elizabeth, Ashmead, Daniel H. & Bodenheimer, Bobby. (2007). Using virtual environments to assess time-to-contact judgments from pedestrian viewpoints. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 4(3), 18.
- Simpson, Gordon, Johnston, Lucy & Richardson, Michael. (2003). An investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 787-796.
- Stelling-Kończak, Agnieszka, Hagenzieker, Marjan & Wee, Bert Van. (2015). Traffic Sounds and Cycling Safety: The Use of Electronic Devices by Cyclists and the Quietness of Hybrid and Electric Cars. *Transport Reviews*, 1-23. doi: 10.1080/01441647.2015.1017750
- Stipdonk, HL. (2013). Road safety in bits and pieces; for a better understanding of the development of the number of road fatalities: TU Delft, Delft University of Technology.
- STRIDE. (2014). Empirically-Based Performance Assessment and Simulation of Pedestrian Behavior at Unsignalized Crossings STRIDE Project Number: 2012-016S.
- Tefft, Brian C. (2013). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 871-878.
- Tiwari, Geetam, Bangdiwala, Shrikant, Saraswat, Arvind & Gaurav, Sushant. (2007). Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(2), 77-89.
- TRB, Transportation Research Board. (2000). HCM, Highway Capacity Manual: National Research Council.
- Ulfarsson, Gudmundur F., Kim, Sungyop & Booth, Kathleen M. (2010). Analyzing fault in pedestrian–motor vehicle crashes in North Carolina. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1805-1813.
- Verheijen, Edwin & Jabben, Jan. (2010). Effect of electric cars on traffic noise and safety. Bilthoven: RIVM.
- Vinnem, Jan-Erik. (2014). Offshore Risk Assessment.
- Waizman, Gennady, Shoval, Shraga & Benenson, Itzhak. (2014). Micro-Simulation Model for Assessing the Risk of Vehicle–Pedestrian Road Accidents. *Journal of Intelligent Transportation Systems*(ahead-of-print), 1-15.

- WHO, World Health Organization. (2004). World report on road traffic injury prevention.
- WHO, World Health Organization. (2013). Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners: World Health Organization.
- Wolfe, Arthur C. (1982). The concept of exposure to the risk of a road traffic accident and an overview of exposure data collection methods.
- WRA, World Road Association (2004). Study on risk management for roads: PIARC.
- Yang, Jianguo, Deng, Wen, Wang, Jinmei, Li, Qingfeng & Wang, Zhaoan. (2006). Modeling pedestrians' road crossing behavior in traffic system micro-simulation in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(3), 280-290.
- Yannis, George, Golias, John & Papadimitriou, Eleonora. (2007). Modeling crossing behavior and accident risk of pedestrians. *Journal of Transportation Engineering*, 133(11), 634-644.
- Yannis, George, Papadimitriou, Eleonora & Theofilatos, A. (2013). Pedestrian gap acceptance for mid-block street crossing. *Transportation planning and technology*, 36(5), 450-462.
- Zegeer, Charles V., Stewart, J. Richard, Huang, Herman H. & Lagerwey, Peter A. (2002). Safety effects of marked vs. unmarked crosswalks at uncontrolled locations: Executive summary and recommended guidelines.