



**Luís Manuel Gomes
Baptista de Oliveira**

**Avaliação do desempenho e da segurança em
travessias pedonais com sistemas de monitorização
ativos**



**Luís Manuel Gomes
Baptista de Oliveira**

**Avaliação do desempenho e da segurança em
travessias pedonais com sistemas de monitorização
ativos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Bertha Maria Batista dos Santos
Professora Auxiliar da Universidade da Beira Interior

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero aproveitar este espaço para agradecer a todos aqueles que ajudaram e contribuíram para a conclusão desta longa etapa. Assim sendo, agradeço:

Ao Professor Doutor Joaquim Macedo, pela ajuda, acompanhamento, dedicação, interesse e disponibilidade, pois mesmo durante estes tempos difíceis que atravessamos, esteve sempre presente e disponível para me orientar e ajudar na realização deste trabalho. Muito obrigado também ao Professor Doutor José Alberto Gouveia Fonseca pela ajuda e disponibilidade.

Aos meus pais, pelo apoio, paciência e, acima de tudo, por nunca duvidarem ou desistirem de mim. Ser-vos-ei eternamente grato.

Ao meu irmão, por me ter aturado nos bons e maus momentos, por todos os conselhos e por ser um dos meus maiores exemplos, um dos grandes responsáveis pela pessoa que sou hoje.

A toda a minha família e em especial à minha avó, por ter estado sempre do meu lado, para tudo.

À minha namorada, pela paciência, apoio e por estar sempre presente quando mais precisei.

Aos meus colegas de casa, que, ao longo de 5 anos, foram a minha segunda família.

A todos os meus amigos, quer os que vieram de trás, quer os que conheci nesta que foi a etapa mais importante da minha vida até ao momento. Um muito obrigado por todas as experiências e momentos que tive o prazer de partilhar convosco.

Este trabalho foi apoiado pelo Projeto Nº 37204 DETAINER: Deterministic Capture of Communication Channels – Technology Research & Development, financiado pelo Portugal2020 14/SI/2017, no âmbito do SI I&DT - Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico, Núcleos de IDT em Co-Promoção, Programa Interface.

palavras-chave

Travessias pedonais; avaliação de risco; sistemas de monitorização ativos; segurança de peões

resumo

Na via pública existem vários tipos de utilizadores, sendo os peões os utilizadores mais sensíveis no que toca à segurança rodoviária. De entre todos os elementos que compõem as infraestruturas pedonais, são as travessias pedonais os seus pontos críticos. Nesses locais existem conflitos entre veículos e peões, sendo por isso essencial minimizar o risco de acidente adotando soluções que diminuam a exposição do peão.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia que permita a avaliação do risco em travessias pedonais, com o auxílio de um sistema de sinalização e de monitorização ativo que se encontra a ser desenvolvido na Universidade de Aveiro, bem como a sua comparação com sistemas semelhantes.

O número de peões envolvido em acidentes rodoviários, por ano, é um dado alarmante para as autoridades nacionais. Com as condições de tráfego a evoluir à medida que os volumes de tráfego e os congestionamentos aumentam, a segurança dos peões durante o atravessamento das rodovias é afetada. Desenvolvimentos recentes nos recursos de desenho geométrico, dispositivos de controlo de tráfego e nas tecnologias em geral podem melhorar o acesso e segurança dos peões ao identificar problemas específicos associados a atravessamentos das vias.

A metodologia desenvolvida está dividida em duas fases, a Fase Estática e a Fase Dinâmica. Na Fase Estática, desenvolvida em forma de lista de verificação (*Checklist*), são tidos em conta critérios tais como: a localização e geometria da via; a visibilidade; a acessibilidade de pessoas com mobilidade condicionada, a sinalização; e a iluminação. Na Fase Dinâmica são avaliados: a exposição e a situação climatérica em função do tempo. A Fase Estática da metodologia foi desenvolvida de modo a ser possível fazer um levantamento das características de qualquer travessia pedonal não semaforizada, tendo apenas em conta os fatores estáticos e físicos da mesma com vista a avaliar possível insuficiências. Esta foi aplicada a dois casos de estudo. Para a Fase Dinâmica da metodologia serão tidos em conta vários fatores, sendo os mais importantes a velocidade e o volume de veículos e peões, tendo sido adotada uma metodologia desenvolvida pelo *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP). Esta metodologia seria adaptada para os moldes europeus e, juntamente com o gráfico do PV^2 e a situação meteorológica, utilizada de modo a complementar a metodologia geral que é o produto desta dissertação.

No geral, a metodologia desenvolvida irá avaliar a segurança e o desempenho de travessias pedonais utilizando um sistema de monitorização ativo capaz de captar os volumes de peões e veículos, bem como as suas velocidades, que permitirá fazer essa avaliação em tempo real, transmitindo as informações para uma base de dados que por sua vez serão fornecidas às entidades reguladoras para agir consoante os resultados que vão sendo apresentados pelo sistema ao longo da avaliação.

keywords

Crosswalks; risk assessment; active monitoring systems; pedestrian safety

abstract

On public roads there are several types of users, with pedestrians being the most sensitive users when it comes to safety. Among all the elements that make up pedestrian infrastructures, pedestrian crosswalks are its critical points. There are conflicts between vehicles and pedestrians in these places, so it's essential to minimize the risk of an accident by adopting solutions that reduce pedestrian exposure.

The objective of this work is the development of a methodology that allows risk assessment in pedestrian crossings, with the aid of an active signaling and monitoring system that is being developed at the University of Aveiro, as well as its comparison with systems similar.

The number of pedestrians involved in road accidents per year is alarming for national authorities. With traffic conditions evolving as traffic volumes and congestion increase, pedestrian safety when crossing roads is affected. Recent developments in geometric design features, traffic control devices and technologies in general can improve pedestrian access and safety by identifying specific problems associated with road crossings.

The methodology developed is divided into two phases, the Static Phase and the Dynamic Phase. In the Static Phase, developed in the form of a checklist, the criteria taken into account are: location and geometry of the road; visibility; accessibility for people with disabilities; signaling; and lighting. In the Dynamic Phase are evaluated: exposure and the climatic situation as a function of the time. The Static Phase of the methodology was developed in order to be able to make a survey of the characteristics of any pedestrian crosswalk that doesn't have traffic light regulation, taking into account only the static and physical factors in order to assess possible shortcomings. This was applied to two case studies. For the Dynamic Phase of the methodology, several factors will be taken into account, the most important being the speed and volume of vehicles and pedestrians, having been adopted a methodology developed by the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). This methodology would be adapted to European molds and, alongside the PV^2 graph and the meteorological situation, used as a way of complement the general methodology that is the product of this dissertation.

In general, the methodology developed will assess the safety and performance of pedestrian crosswalks using an active monitoring system capable of capturing the volumes of pedestrians and vehicles, as well as their speeds, which will make this assessment possible in real time, transmitting the information to a database which in turn will be provided to regulatory authorities to act according to the results that are being presented by the system throughout the evaluation.

Índice

Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Índice de Acrónimos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos e Metodologia	4
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. Acidentes e Segurança nas Travessias Pedonais	7
2.1. Introdução.....	7
2.2. Principais Causas de Acidentes Envolvendo Peões	7
2.2.1. Excesso de velocidade dos veículos	7
2.2.2. Excesso de álcool no sangue	8
2.2.3. Iluminação/Período do dia.....	9
2.2.4. Zonas e localizações de risco.....	9
2.3. Medidas de Reforço da Segurança em Travessias Pedonais	10
2.3.1. Marcação de Travessias Pedonais em zonas não controladas	10
2.3.2. Instalação de sinais luminosos intermitentes ativados pelos peões	12
2.3.3. Instalação de marcadores luminosos no pavimento em zonas não sinalizadas	14
2.3.4. Melhoria da qualidade da iluminação pública.....	16
2.3.5. Instalação de sensores de deteção automática de peões	19
2.4. Síntese Geral.....	21
3. Critérios de Seleção e Melhoria de Travessias Pedonais	23
3.1. Critérios de Seleção de Travessias Pedonais.....	23
3.1.1. Critério de aplicação de travessias pedonais do Institute of Transportation Engineers ²⁴	24
3.1.2. Critério de aplicação de travessias pedonais do Reino Unido.....	25
3.1.3. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Australianas e Neozelandesas	27
3.1.4. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Canadianas.....	28
3.1.5. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Americanas	30
3.2. Critérios para Melhoria de Travessias Pedonais	30
3.2.1. Quando utilizar a sinalização vertical intermitente como medida de melhoria da segurança	32
3.2.2. Seleção entre solução semaforizada, faróis híbridos e sinalização vertical intermitente (Estados Unidos)	33
3.3. Síntese Geral.....	35
4. Critérios de Avaliação	37
4.1. Introdução.....	37
4.2. Metodologia de avaliação de segurança da travessia pedonal (Basile et al.)	37
4.3. Procedimento de Avaliação de Segurança (Montella & Mauriello).....	40
4.4. Síntese Geral.....	47
5. Metodologia.....	49
5.1. Introdução.....	49
5.2. Tabelas de Fatores e Parâmetros	50
5.3. Descrição dos Fatores e Parâmetros	51

5.3.1.	Localização e Geometria da Via.....	51
5.3.2.	Visibilidade.....	52
5.3.3.	Acessibilidade.....	54
5.3.4.	Sinalização.....	57
5.3.5.	Iluminação	59
5.3.6.	Exposição	60
5.3.7.	Situação Climatérica.....	61
5.3.8.	Dimensão Temporal	61
5.4.	Fase Estática da Metodologia	62
5.4.1.	Caso de Estudo – Avenida da Liberdade, Gião	64
5.4.2.	Caso de Estudo – Avenida da Universidade, Aveiro	70
5.5.	Fase Dinâmica da Metodologia	75
5.5.1.	Especificações do Sistema STAP	75
5.5.2.	Descrição da Fase Dinâmica.....	77
5.6.	Sintetização da Metodologia	84
6.	Considerações Finais	87
6.1.	Conclusões.....	87
6.2.	Perspetivas Futuras	88
	Referências bibliográficas	89

Índice de Figuras

Figura 1. Risco Médio de Morte x Velocidade de Impacto em Peões com 30 e 70 anos (Tefft, 2013).....	8
Figura 2. Exemplo de padrões de marcações de travessias pedonais (Mead et al., 2014).	10
Figura 3. Travessias pedonais utilizadas em Portugal (M11 [esquerda] e M11a [direita]) (Declaração de Retificação nº60-A/2019, 2019).	11
Figura 4. Local, tipo de sinalização, dispositivo de ativação utilizado no estudo (Vasudevan et al., 2011) e “danish offset” (Kutela & Teng, 2019)	13
Figura 5. Aplicação de um sistema de sinais luminosos no pavimento (Derlofske et al., 2003).	15
Figura 6. Colocação tradicional de iluminação de uma travessia pedonal (acima); Colocação mais eficiente de iluminação de uma travessia pedonal (abaixo) (Gibbons et al., 2008).....	17
Figura 7. Sistema de deteção automática de peões (Hughes, Huang, Zegeer, & Cynecky, 2001).....	20
Figura 8. Critério ITE de instalação de travessias pedonais ITE, 1998; adaptado de Seco et al., 2008).....	25
Figura 9. Critério Reino Unido para instalação de travessias pedonais (HSMO, 1987; citado em Seco et al., 2008)	26
Figura 10. Fluxograma baseado nos níveis de serviço (NZ Transport Agency, 2007; adaptado Jain & Rastogi, 2016).....	28
Figura 11. Gráfico de recomendação para aplicação de travessias pedonais (PCCMBC, 1994; adaptado Jain & Rastogi, 2016).....	29
Figura 12. Gráfico para travessias pedonais do MUTCD (MUTCD, 2009; adaptado Jain & Rastogi, 2016).....	30
Figura 13. Método de funcionamento dos faróis híbridos (adaptado de “How to Use the HAWK Signal,” 2018)	33
Figura 14. Guias para a instalação de luzes intermitentes rápidas, faróis híbridos e soluções semaforizadas em estradas de velocidade reduzida (City of Boulder - Transportation Division, 2011).....	34
Figura 15. Guias para a instalação de luzes intermitentes rápidas, faróis híbridos e soluções semaforizadas em estradas de velocidade elevada (City of Boulder - Transportation Division, 2011).....	34
Figura 16. Estrutura hierarquizada para travessias pedonais não semaforizadas (Basile et al., 2010).....	38
Figura 17. Estrutura hierarquizada para travessias pedonais semaforizadas (Basile et al., 2010)	39
Figura 18. Estacionamento obstruindo a acessibilidade para a travessia pedonal (Marques, 2004).....	55
Figura 19. Estacionamento obstruindo a acessibilidade para a travessia pedonal (Marques, 2004).....	56
Figura 20. a) Sinal A16a e b) Sinal H7 (Declaração de Retificação nº60-A/2019, 2019)	58
Figura 21. Componentes da iluminação vertical (Gibbons et al., 2008)	60
Figura 22. Gráfico dos resultados da Fase Estática	62
Figura 23. Localização da travessia em estudo no mapa (Google Maps, 2021)	64
Figura 24. Fotografia da travessia pedonal durante o dia.....	65
Figura 25. Fotografia da travessia pedonal durante a noite.....	66
Figura 26. Gráfico Radar com resultados da Fase Estática (Caso de Estudo 1).....	68
Figura 27. Localização da travessia em estudo no mapa (Google Maps, 2021)	70

Figura 28. Fotografia da travessia pedonal (Google Maps, 2019)	71
Figura 29. Gráfico Radar com resultados da Fase Estática (Caso de Estudo 2).....	73
Figura 30. Visão lateral do poste, voltado para a via (Bandeira, 2019)	76
Figura 31. Visão lateral do poste, voltado para a travessia pedonal (Bandeira, 2019).....	77
Figura 32. Fluxograma de diretrizes da metodologia (Fitzpatrick, 2007 – Adaptado)	81
Figura 33. Gráfico final da metodologia (Exemplo 1)	82
Figura 34. Gráfico final da metodologia (Exemplo 2)	83

Índice de Tabelas

Tabela 1. Peões vítimas de acidente segundo género e grupo etário em 2018 e 2019 (ANSR, 2020).....	2
Tabela 2. Peões vítimas segundo as ações praticadas em 2018 e 2019 (ANSR, 2020)	3
Tabela 3. Fatores UAE (Jain & Rastogi, 2016).....	29
Tabela 4. Utilização de luzes intermitentes por configuração da estrada (Washington State Department of Transportation, 2018)	32
Tabela 5. Listas de Verificação de Travessias Pedonais (Secção a, b, c) (Montella & Mauriello, 2010)	42
Tabela 6. Listas de Verificação de Travessias Pedonais (Secção d, e, f) (Montella & Mauriello, 2010)	43
Tabela 7. Nível de Segurança (Montella & Mauriello, 2010).....	46
Tabela 8. Parâmetros e respetivos pesos da Localização e Geometria da Via	50
Tabela 9. Parâmetros e respetivos pesos da Visibilidade	50
Tabela 10. Parâmetros e respetivos pesos da Acessibilidade	50
Tabela 11. Parâmetros e respetivos pesos da Sinalização	51
Tabela 12. Parâmetros e respetivos pesos da Iluminação.....	51
Tabela 13. Distâncias de Paragem em Pavimentos Molhados (Marques, 2004).....	54
Tabela 14. Distâncias de Paragem em Pavimentos Secos (Marques, 2004)	54
Tabela 15. Tabela de Recomendações para Fase Estática.....	63
Tabela 16. Tabela de “checklist” para Fase Estática (Caso de Estudo 1)	67
Tabela 17. Tabela de recomendações para melhoria da segurança da travessia pedonal (Caso de Estudo 1).....	69
Tabela 18. Tabela de “checklist” para Fase Estática (Caso de Estudo 2)	72
Tabela 19. Tabela de recomendações para melhoria da segurança da travessia pedonal (Caso de Estudo 2).....	74
Tabela 20. Folha de Cálculo da Metodologia do NCHRP preenchida (Exemplo 1).....	80
Tabela 21. Folha de Cálculo da Metodologia do NCHRP preenchida (Exemplo 2).....	82
Tabela 22. Excerto da Matriz Final da Metodologia preenchida (Exemplo)	84

Índice de Acrónimos

ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
HAWK	<i>Pedestrian Hybrid Beacon</i> (Faróis Híbridos)
ITE	<i>Institute of Transportation Engineers</i>
LTN	<i>Local Transport Note</i> (Nota de Transportes Locais)
MUTCD	<i>Manual on Uniform Traffic Control Devices</i>
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research Program</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
PCCMBC	<i>Pedestrian Crossing Control Manual for British Columbia</i> (Manual de Controlo de Travessias Pedonais de British Columbia)
RI	<i>Risk Index</i> (Índice de Risco)
RRFB	<i>Rectangular Rapid Flash Beacons</i> (Luzes intermitentes rápidas)
RST	Regulamento de Sinalização de Trânsito
SI	<i>Safety Index</i> (Índice de Segurança)
STAP	Sinalização Transversal Ativa de Passadeiras
TMD	Tráfego médio diário
TMDA	Tráfego médio diário anual
UAE	Unidade de adulto equivalente

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Na via pública existem vários tipos de utilizadores, podendo estes ser condutores, passageiros, utilizadores de velocípedes e peões.

É definido como peão, pelo *Cambridge Pedestrian Plan*, uma pessoa que se movimenta na via pública ou privada a pé ou numa cadeira de rodas. Ciclistas apenas são considerados peões se estiverem com as respetivas bicicletas à mão (*City of Cambridge*, 2000). As crianças, idosos e pessoas com mobilidade reduzida fazem parte de grupos especiais de peões pois não têm o mesmo comportamento e desempenho dos outros peões ditos normais tendo em conta as suas limitações no que toca à integração no ambiente rodoviário, levando à necessidade de especial atenção à sua proteção e segurança (Seco, Macedo, & Costa, 2008).

No que toca aos peões com mobilidade reduzida, estão incluídos neste grupo pessoas com deficiências físicas, mentais e sensoriais, bem como todos os que, por qualquer razão, têm dificuldade em movimentar-se. Tendo em conta que muitos destes peões necessitam de equipamentos para auxiliar na sua locomoção, é fundamental adaptar as infraestruturas pedonais às necessidades específicas destas pessoas, visto que necessitam de mais espaço e possuem limitações ao nível de velocidade de marcha e capacidades sensoriais, designadamente no que toca à visão e audição, relativamente às pessoas sem qualquer tipo de condicionamento (Seco et al., 2008).

As crianças apenas adquirem condições psíquicas e físicas semelhantes às dos adultos a partir dos 11-12 anos, sendo que, abaixo dos 9 anos de idade, estas são incapazes de distribuir adequadamente a sua atenção, sendo facilmente distraídas e respondendo a estímulos externos de forma impulsiva, tornando-se assim imprevisíveis. A reduzida estatura faz com que muitas das vezes fiquem escondidas atrás de obstáculos, dificultando assim a sua deteção por parte dos condutores (Seco et al., 2008).

Os idosos (indivíduos com idade superior a 65 anos) caracterizam-se pela perda de capacidades físicas tendo em conta o normal processo de envelhecimento. As razões pelas quais os idosos se inserem neste grupo especial de peões são, entre outros, a perda de capacidades ao nível da visão, audição, raciocínio e memória, bem como na locomoção, reflexos e tempos de decisão, que são mais extensos (Seco et al., 2008).

Na Tabela 1 estão representados o número de peões vítimas de acidentes rodoviários em Portugal, nos anos de 2018 e 2019, tendo em conta o seu género e grupo etário, sendo que estes valores se referem às vítimas mortais, feridos graves e feridos ligeiros registados nesses anos (ANSR, 2020). A partir desta tabela é possível observar que existiu um aumento de vítimas em 2019 comparativamente a 2018, e, que, em 2019, 36,3% das vítimas estão inseridas nos grupos especiais de peões, sendo que desta percentagem 4,4% são crianças com idades iguais ou inferiores a 9 anos e 31,9% são idosos com idades iguais ou superiores a 65 anos.

Tabela 1. Peões vítimas de acidente segundo género e grupo etário em 2018 e 2019 (ANSR, 2020)

	TOTAL DE VÍTIMAS					
	Feminino		Masculino		TOTAL	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
<=5	59	44	80	91	139	135
6-9	44	43	89	75	133	118
10-14	157	193	176	161	333	354
15-19	253	2325	197	178	450	413
20-24	210	214	162	144	372	358
25-29	133	134	94	106	227	240
30-34	112	132	67	85	179	217
35-39	128	125	97	96	225	221
40-44	160	176	125	121	285	297
45-49	196	182	131	132	327	314
50-54	220	221	164	154	384	375
55-59	235	250	172	187	407	437
60-64	229	238	176	183	405	421
65-69	230	225	178	169	408	394
70-74	237	264	175	201	412	465
>=75	536	522	430	442	966	964
TOTAL	3139	3198	2513	2525	5652	5723

Para um melhor funcionamento da via pública tendo em conta que é utilizada por condutores e peões, existem uma série de infraestruturas pedonais. A conceção, implementação e gestão do sistema pedonal deve ser realizada de modo a atingir certos objetivos, sendo eles a segurança, comodidade, rapidez, coerência e atratividade para os peões (Seco et al., 2008).

Dentro das infraestruturas pedonais, as travessias pedonais são os pontos críticos destas redes pois é aí que existem os principais conflitos entre veículos e peões. Sendo o peão, pela sua natureza, um utilizador vulnerável torna-se prioritário minimizar o risco de acidente através do recurso a soluções que diminuam a sua exposição, aumentando-se assim a segurança nestes elementos. Para além disso, deve-se ter atenção à comodidade nestes elementos da

infraestrutura pedonal, particularmente no que toca a pessoas com mobilidade reduzida ou condicionada (Seco et al., 2008).

Na Tabela 2 estão representados o número de peões vítimas de acidentes rodoviários em 2018 e 2019, tendo em conta as ações praticadas no momento do acidente, sendo que estes valores referem-se às vítimas mortais, feridos graves e feridos ligeiros registados nesses anos (ANSR, 2020).

Tabela 2. Peões vítimas segundo as ações praticadas em 2018 e 2019 (ANSR, 2020)

		Vítimas mortais		Feridos graves		Feridos leves		Total de vítimas	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
TOTAL	A sair ou entrar num veículo	17	3	52	15	463	151	535	169
	Atravessando em passagem sinalizada	23	20	113	140	2219	2401	2355	2561
	Atravessando em passagem sinalizada com desrespeito da sinalização semafórica	2	2	7	6	94	108	103	116
	Atravessando fora da passagem de peões a mais de 50m de uma passagem ou quando não exista passagem	17	19	27	50	335	388	379	457
	Atravessando fora da passagem de peões, a menos de 50m de uma passagem	18	8	44	40	510	523	572	571
	Em ilhéu ou refúgio na via	2	1	3	4	56	45	61	50
	Em plena faixa de rodagem	48	43	50	68	572	555	670	666
	Em trabalhos na via	1	1	3	7	45	55	49	63
	Surgindo inesperadamente na faixa de rodagem de trás de um obstáculo	8	7	26	25	232	282	266	314
	Transitando pela berma ou passeio	15	22	35	35	376	465	426	522
	Transitando pela direita da faixa de rodagem	1	6	14	13	124	123	139	142
	Transitando pela esquerda da faixa de rodagem	3	1	6	6	40	59	49	66
	N.D.	1	1	8	0	42	25	51	26
TOTAL	156	134	388	409	5108	5180	5652	5723	

Analisando a Tabela 2 é possível notar que, em 2019, dos 5723 peões vítimas de acidente, 3248 estão relacionados com travessias pedonais, o que corresponde a cerca de 57%. Das 3248 vítimas relacionadas com travessias pedonais 116 (cerca de 4%) ocorreram durante o atravessamento em passagem sinalizada com desrespeito da sinalização semafórica e 571 (17%) ocorreram durante o atravessamento fora da passagem de peões, a menos de 50m de uma passagem. Analisando estes números, 687 (21%) das vítimas foram da direta responsabilidade delas próprias, tendo sido os mesmos a colocar a própria segurança em risco devido ao desrespeito pela sinalização e legislação. Apesar dos números acima analisados terem sido consequência de negligência por parte dos peões, 2561 (79%) vítimas deram-se durante o atravessamento em passagem sinalizada, ou seja, os peões envolvidos cumpriram com a sinalização e legislação.

Após a análise feita à Tabela 2, é possível reforçar a ideia de que as travessias pedonais são um ponto crítico não só no sistema pedonal, mas também das redes viárias em geral no que toca à segurança dos peões, tendo em conta que são o ponto de maior interação e conflito entre peões e veículos.

Esta dissertação de mestrado pretende desenvolver uma metodologia que consiga avaliar o risco de uma travessia pedonal, com o auxílio de um sistema de sinalização e monitorização ativo para travessias pedonais, que se encontra a ser desenvolvido na Universidade de Aveiro.

1.2. Objetivos e Metodologia

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia que permita a avaliação do risco em travessias pedonais, com o auxílio de um sistema de sinalização e de monitorização ativo que se encontra a ser desenvolvido na Universidade de Aveiro, bem como a sua comparação com sistemas semelhantes.

A dissertação será baseada na literatura e metodologias existentes, sendo apoiada em parte com casos de estudo em travessias pedonais.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos, que, por sua vez, se dividem em dois grandes grupos. O primeiro grupo engloba toda a literatura reunida acerca do tema desenvolvido na dissertação, ao ponto que no segundo grupo é elaborada e desenvolvida uma metodologia que pretende servir como ferramenta de avaliação do risco de uma travessia pedonal.

No presente capítulo é efetuado um enquadramento ao tema da dissertação, bem como uma breve apresentação dos objetivos propostos e o método de realização e elaboração da dissertação.

No segundo capítulo são abordados os acidentes e segurança nas travessias pedonais, sendo apresentadas algumas das principais causas de acidentes envolvendo peões e alguns exemplos de medidas de reforço da segurança nas travessias, corroborados por casos de estudo presentes na literatura.

O terceiro capítulo aborda alguns dos critérios de seleção e reforço de travessias pedonais legislados em diferentes países a nível mundial.

No quarto capítulo estão presentes dois exemplos de critérios de avaliação de segurança em travessias pedonais.

O quinto capítulo é onde se desenvolve a metodologia de avaliação do risco de uma travessia pedonal, que é o objetivo proposto nesta dissertação, contando com a descrição detalhada da metodologia, bem como a sua aplicação aos casos de estudo realizados.

O sexto e último capítulo contém as conclusões retiradas desta dissertação, bem como as propostas futuras para desenvolvimento deste trabalho.

2. ACIDENTES E SEGURANÇA NAS TRAVESSIAS PEDONAIS

2.1.Introdução

O número de peões envolvidos em acidentes rodoviários por ano é um dado alarmante para as autoridades nacionais. Segundo a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), em 2019, o número de peões envolvidos em acidentes rodoviários em Portugal chegou a 5723, sendo que o número de vítimas mortais foi de 134 pessoas (ANSR, 2020). Assim, tem havido um destaque crescente na otimização da segurança dos peões com o objetivo de alterar este cenário. O desejo de melhorar esta mesma segurança estende-se a áreas tipicamente vistas como desfavoráveis para peões, como por exemplo vias largas ou vias em que os limites de velocidade são elevados. Com as condições de tráfego a evoluir no sentido do aumento dos volumes de tráfego e dos congestionamentos, as condições com que os peões atravessam as rodovias em segurança é também afetada. Desenvolvimentos recentes nos recursos de desenho geométrico, dispositivos de controlo de tráfego e nas tecnologias em geral podem melhorar o acesso e segurança dos peões, ao identificar problemas específicos associados a atravessamentos das vias (Fitzpatrick, 2007).

Neste capítulo estão descritas algumas das principais causas que levam à existência do elevado número de acidentes rodoviários envolvendo peões nas travessias pedonais, bem como algumas das medidas de reforço aplicadas em prol da sua segurança.

2.2.Principais Causas de Acidentes Envolvendo Peões

2.2.1. Excesso de velocidade dos veículos

O excesso de velocidade dos veículos motorizados é um dos principais fatores que contribuem não só para acidentes rodoviários envolvendo peões, mas também para todos os tipos de acidentes rodoviários. De acordo com a National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), em 2017 cerca de 26% dos acidentes mortais registados nos Estados Unidos da América deveram-se a casos de excesso de velocidade (NHTSA, 2019).

Apesar de ser um problema grave no que toca a acidentes rodoviários no geral, quando existem peões envolvidos as consequências são ainda mais gravosas. Tendo em conta estudos

relacionando colisões de veículos com peões e atendendo à velocidade atingida e severidade das lesões, Tefft (2013) indica que o risco médio de um peão falecer em caso de atropelamento é de 10% a uma velocidade de impacto de 37 km/h (23 mph), 25% se a colisão se desse a 51 km/h (32 mph), 50% se a colisão se desse a 64 km/h (40 mph), 75% se a colisão se desse a 64 km/h (50 mph) e 90% se a colisão se desse a 93 km/h (58 mph). Os riscos variam significativamente consoante a idade. Por exemplo, o risco médio de morte para um peão de 70 anos atropelado por um carro a uma velocidade de 40 km/h é semelhante ao risco para um peão de 30 anos atropelado a 56 km/h. A Figura 1 ilustra a relação entre o risco médio de morte e a velocidade de impacto para peões com 30 e 70 anos de idade (Tefft, 2013).

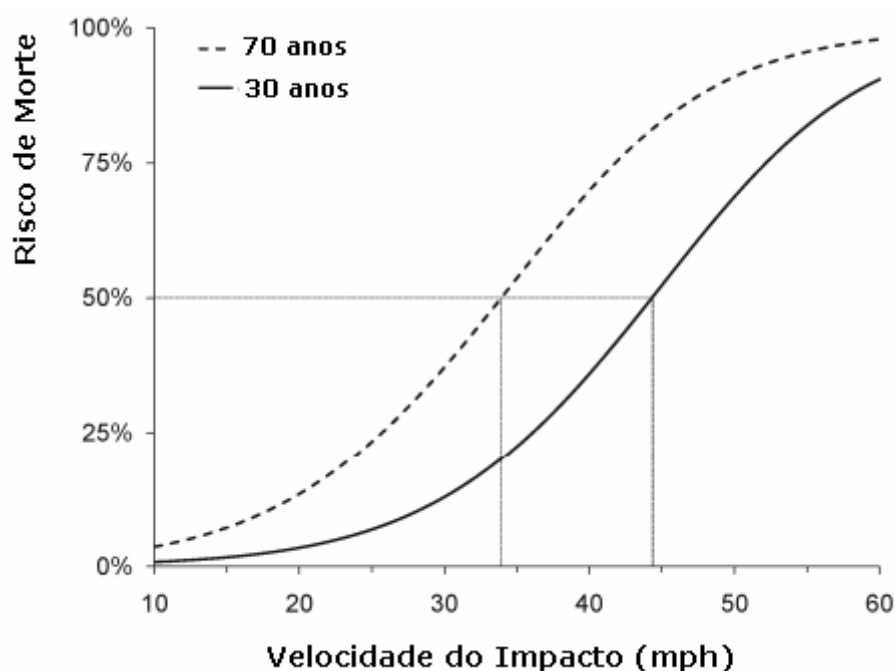


Figura 1. Risco Médio de Morte x Velocidade de Impacto em Peões com 30 e 70 anos (Tefft, 2013).

Quanto maior for a velocidade, maior é a probabilidade de um peão ser atingido por um veículo. Quando um condutor se encontra em excesso de velocidade, a probabilidade deste visualizar um peão é menor, sendo também menor a probabilidade de travar a tempo de evitar a colisão com um peão (Zegeer et al., 2002).

2.2.2. Excesso de álcool no sangue

O excesso de álcool é um problema grave tanto para os peões como para os condutores dos veículos, sendo que, apesar de tudo, o panorama tem vindo a melhorar (Zegeer et al., 2002).

Segundo o NHTSA, cerca de 32% dos peões fatalmente envolvidos em embates com veículos, em 2017, nos Estados Unidos da América, estariam sob o efeito de álcool. No que toca aos condutores, das 5977 mortes de peões registadas, cerca de 1017 estiveram envolvidas em acidentes em que o condutor do veículo estaria sob efeito do álcool (NHTSA, 2019).

2.2.3. Iluminação/Período do dia

Caminhar pelas estradas desde o anoitecer até ao amanhecer, sobretudo quando não existe iluminação pública, pode ser um fator de risco acrescido. Embora para os peões seja mais fácil ver os veículos, já que têm os faróis acesos, para os condutores é mais difícil ver os peões que circulam (ANSR, 2014).

Segundo dados fornecidos pela ANSR, 36% dos acidentes envolvendo peões em Portugal, no ano de 2018, ocorreram durante o período noturno, sendo este um valor bastante elevado tendo em conta o volume de utilizadores da via pública durante esse período do dia.

Um estudo de 2002 de Sullivan & Flannagan reforça o forte efeito da iluminação nas colisões fatais com peões. Estimativas realizadas através de análises deste estudo e outros artigos publicados sugerem que os peões poderão estar entre 3 a 6,75 vezes mais vulneráveis no escuro do que ao abrigo da luz do dia (Sullivan & Flannagan, 2002).

Os resultados de um estudo publicado em 2013 por Sivak, Schoettle, & Tsimhoni indicam que a frequência de fatalidades envolvendo peões em noites de lua nova é 22% superior comparativamente a noites de lua cheia. Este estudo indica que as colisões envolvendo peões são sensíveis às diferenças nos baixos níveis de iluminação ambiente (Sivak, Schoettle, & Tsimhoni, 2013).

2.2.4. Zonas e localizações de risco

Colisões envolvendo peões tendem a ocorrer com mais frequência em zonas urbanas onde o volume de tráfego e a circulação de peões é superior comparativamente com as zonas rurais (Zegeer et al., 2002).

De acordo com a ANSR, no ano de 2018 em Portugal cerca de 97% dos acidentes envolvendo peões ocorreram dentro das localidades e os restantes 3% fora de localidades. No entanto, no que toca a peões vítimas mortais resultantes de colisões com veículos, o número de vítimas sobe para os 24% fora das localidades. Estes dados estão relacionados com o facto da velocidade dos veículos ser superior fora das localidades. Para além disto, muitas vias situadas

fora das localidades não contêm passadeiras, trilhos ou bermas que sirvam de infraestrutura pedonal (Zegeer et al., 2002).

2.3. Medidas de Reforço da Segurança em Travessias Pedonais

2.3.1. Marcação de Travessias Pedonais em zonas não controladas

As marcações das travessias pedonais proporcionam orientação para os peões que atravessam as rodovias, definindo e delineando caminhos na abordagem de interseções semaforizadas ou de outras interseções onde existe paragem do tráfego. Em conjunto com sinais e outras medidas, as marcações ajudam no alerta dos utilizadores da via para um ponto designado para passagem de peões em locais que não são controlados por sinais de STOP ou cedência de passagem. Em zonas de localizações não semaforizadas, as marcações estabelecem legalmente a travessia pedonal (FHWA, 2010).

Na Figura 2 estão representados vários padrões de marcas horizontais de travessias pedonais utilizados nos Estados Unidos e Reino Unido (Mead, Zegeer, & Bushell, 2014).

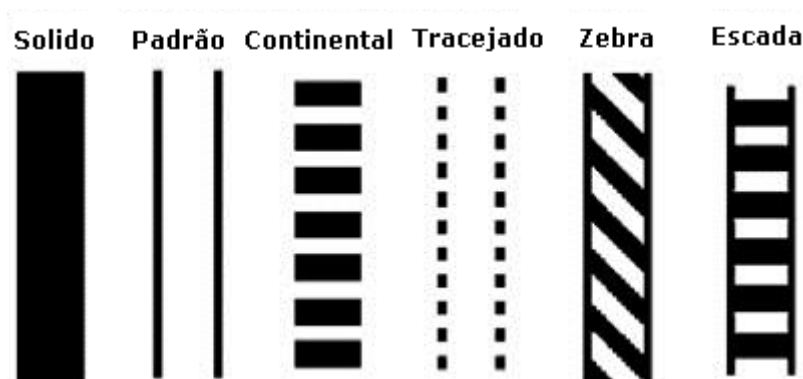


Figura 2. Exemplo de padrões de marcações de travessias pedonais (Mead et al., 2014).

Em Portugal, as passagens para peões são constituídas por barras longitudinais paralelas ao eixo da via, alternadas por intervalos regulares (M11) ou por duas linhas transversais contínuas (M11a). Nos locais onde o atravessamento da faixa de rodagem por peões não esteja regulado por sinalização luminosa, deve utilizar-se a marca M11 (Declaração de Retificação nº60-A/2019, 2019). Na Figura 3 encontram-se ilustrados os dois tipos de travessias pedonais utilizados em Portugal.

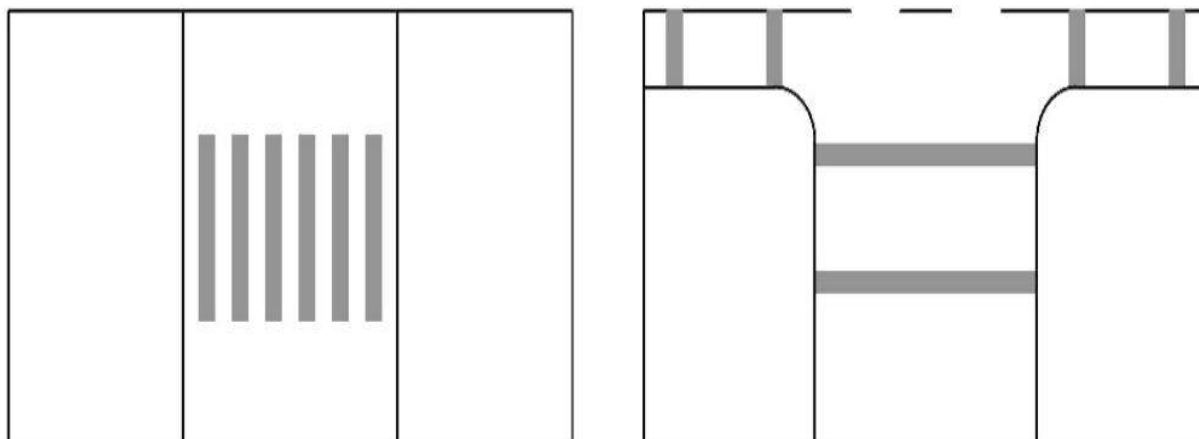


Figura 3. Travessias pedonais utilizadas em Portugal (M11 [esquerda] e M11a [direita]) (Declaração de Retificação nº60-A/2019, 2019).

Ao longo dos anos foram efetuados estudos que produziram uma variedade de resultados que dizem respeito aos efeitos na segurança entre travessias pedonais com marcação rodoviária e sem marcação (Mead et al., 2014). Um desses estudos, efetuado por Zegeer et al. (2001), procedeu a uma análise de dados de colisões envolvendo peões durante 5 anos em 1000 travessias pedonais formalizadas e correspondentes 1000 não formalizadas, ao longo de 30 cidades Norte-Americanas. Nenhum dos locais do estudo tinha semáforos ou sinais de STOP nas proximidades. Foram recolhidos dados detalhados sobre volume de tráfego, exposição de peões, número de vias de tráfego, tipo de meio, limites de velocidade e outros locais. Foram usados modelos de regressão binomial negativos e de Poisson (Zegeer, Stewart, Huang, & Lagerwey, 2001).

Quanto aos resultados das comparações entre travessias pedonais marcadas e não marcadas, quando o volume de tráfego é baixo (TMD inferior a 12000 veículos por dia) não existe nenhuma diferença significativa na taxa de colisões envolvendo peões. Quando existe um TMD superior a 12000 veículos por dia numa rodovia com várias vias de tráfego, a existência de uma travessia pedonal marcada está associada com um aumento estatístico considerável na taxa de colisões envolvendo peões, comparativamente a travessias pedonais não marcadas (Zegeer et al., 2001).

Foram sugeridos potenciais melhoramentos a serem implementados em zonas de atravessamento não sinalizadas para reforçar a segurança dos peões. Algumas destas recomendações incluem: instalação de sinalização vertical para veículos e peões onde necessário, adicionar bermas ou ilhas elevadas para reduzir a distância percorrida pelo peão durante o atravessamento da via, instalação adequada de iluminação noturna em locais de

travessias para peões e a realização de projetos mais seguros de interseções e caminhos de acesso, entre outros (Zegeer et al., 2001; citado em Mead et al., 2014).

2.3.2. Instalação de sinais luminosos intermitentes ativados pelos peões

A sinalização luminosa intermitente ativada pelos peões é uma medida de reforço da segurança que consiste num conjunto de sinais luminosos suspensos ativados por peões instalados por cima da travessia pedonal. As luzes estão temporizadas para estarem ativas durante o tempo necessário, de modo a permitir que os peões concluam o atravessamento. Esta medida tem o objetivo de chamar a atenção dos condutores para a presença de uma travessia pedonal e incentivar os peões a usarem estas infraestruturas para atravessar a estrada (Vasudevan, Pulugurtha, Nambisan, & Dangeti, 2011).

Várias pesquisas realizadas demonstram que este tipo de sinais encoraja os condutores a ceder passagem a peões com mais frequência (Nitzburg et al., 2001; Huang et al., 2000; Van Houten et al., 1999; citado em Mead et al., 2014). Apesar de tudo, estes efeitos positivos são algo modestos pois: 1) este tipo de sinalização (sinal amarelo intermitente) não é exclusivo a peões, sendo que os condutores não estão necessariamente à espera de um peão sempre que vêem um sinal amarelo intermitente; 2) muitos condutores apercebem-se que muitos peões são capazes de atravessar a estrada em menos tempo que a duração do sinal permitindo então fazer com que os condutores pensem que o peão já acabou de atravessar se um carro parado estiver a bloquear o peão de vista (Mead et al., 2014).

Vasudevan, Pulugurtha, Nambisan e Dangeti (2011) conduziram um estudo que visava a avaliação da eficácia de medidas baseadas em sinais luminosos que poderiam reduzir conflitos e colisões entre veículos e peões, reforçando assim a segurança destes últimos. As avaliações foram baseadas em observações de campo tendo em conta o comportamento dos peões e condutores antes e depois da instalação das medidas localizadas em Las Vegas, Nevada, Estados Unidos da América (Vasudevan et al., 2011).

Uma das medidas implementadas foi precisamente a instalação de sinais luminosos intermitentes ativados por peões. Esta medida foi implementada perto de Maryland Parkway e Dumont Street, numa zona utilizada primariamente para efeitos comerciais, sendo considerada uma localização a meio do quarteirão. Os problemas-chave identificados a partir da observação de campo e dos dados de acidente nesse local incluem peões que não esperam por aberturas aceitáveis no trânsito para atravessar a estrada, condutores que não cedem a passagem aos peões, peões presos no meio da via e conflitos entre peões e condutores. Esta medida foi

aplicada em conjunto com outras medidas previamente instaladas, sendo elas uma travessia pedonal de grande visibilidade, um refúgio para peões no meio da via, marcações para abrandamento de veículos e uma “danish offset” (desvio na travessia pedonal dividida por refúgio para peões) (Vasudevan et al., 2011). Na Figura 4 estão representados o local onde a medida foi implementada, o tipo de sinalização e dispositivo utilizados e a “danish offset”.



Figura 4. Local, tipo de sinalização, dispositivo de ativação utilizado no estudo (Vasudevan et al., 2011) e “danish offset” (Kutela & Teng, 2019) .

A eficácia das medidas estudadas, antes e depois da sua aplicação pelas entidades que gerem a infraestrutura, incidiu sobre as seguintes: ciclos de sinais nos quais o botão de ativação do sinal foi pressionado pelos peões; peões que desrespeitaram o sinal; peões que observaram se existiam veículos antes de atravessar; peões que começaram a atravessar na fase de sinal verde; peões na travessia pedonal quando o sinal vermelho estava intermitente; peões que fizeram um desvio sem alterar o seu trajeto habitual para utilizar esta medida de segurança; peões que alteraram o seu trajeto habitual para utilizar esta medida de segurança; condutores que cederam passagem aos peões; condutores que bloquearam a travessia pedonal; e condutores que pararam totalmente antes de virar à direita no vermelho (Vasudevan et al., 2011).

Os resultados obtidos demonstram que a percentagem de condutores que bloqueavam a travessia pedonal diminuiu substancialmente. Foi detetada uma melhoria significativa na distância em que condutores cedem passagem a peões. Foi observado um aumento na proporção da distância em que condutores cedem passagem a peões em todas as categorias <10ft (~3.05m); 10-20ft; e >20ft (~6.10m)), sendo que das três categorias a <10ft foi onde se registou uma maior proporção. Apesar de tudo isto, não foram detetadas diferenças estatísticas

significativas na percentagem de condutores que cedem passagem a peões. Registou-se também um aumento de peões a observar se existe a presença de veículos enquanto atravessam as duas metades da via, bem como um aumento de peões que alteram o seu trajeto habitual para usar a travessia pedonal com a sinalização luminosa instalada (Vasudevan et al., 2011).

As observações e análises indicam que, embora as medidas abordadas neste estudo melhorem o desempenho da circulação dos peões e, portanto, a sua segurança, elas não alteram o comportamento dos condutores. No entanto, é importante efetuar alterações e abordar estes comportamentos para com as medidas aplicadas neste estudo. No geral, os resultados indicam que as medidas aplicadas influenciaram com sucesso as questões de segurança (Vasudevan et al., 2011).

2.3.3. Instalação de marcadores luminosos no pavimento em zonas não sinalizadas

As instalações de marcadores luminosos no pavimento são propostas como medidas que aumentam a visibilidade dos peões quando estes se encontram nas travessias pedonais (Derlofske, Boyce, & Gilson, 2003). Os marcadores luminosos no pavimento são normalmente utilizados em interseções não sinalizadas e em locais a meio de um quarteirão de modo a garantir que os condutores são informados das condições especiais existentes nas travessias pedonais especialmente equipadas com este tipo de medida de reforço. Os marcadores luminosos direcionam duas ou mais luzes no sentido dos condutores quando um peão entra na travessia pedonal. O sistema pode ser ativado por um botão (sistema ativo) ou sensor (sistema passivo) que deteta a quebra de um feixe de energia pelo utilizador da travessia. Detalhes importantes no projeto e operação deste tipo de sistema incluem: o método de ativação, o número e posicionamento das luzes, a duração do período intermitente, entre outras (Kannel & Jansen, 2004).

Existem vários tipos de desvantagens na utilização desta medida. Por exemplo, todo o sistema deve ser substituído sempre que ocorrerem reparações na superfície da via. Além disso, as luzes no pavimento geralmente são visíveis apenas para o primeiro carro de um pelotão. Outra desvantagem é o facto de os marcadores luminosos poderem ser de difícil visualização durante as fases do dia em que a iluminação natural é mais intensa (Mead et al., 2014).

A aplicação deste tipo de sistema encontra-se representada na Figura 5.



Figura 5. Aplicação de um sistema de sinais luminosos no pavimento (Derlofske et al., 2003).

Um estudo realizado por Derlofske, Boyce & Gilson (2003) consistiu numa avaliação de campo para determinar o impacto de melhoramentos sucessivos a uma travessia pedonal existente, efetuando séries de comparações entre o antes e depois da implementação dessas medidas de melhoria. A primeira avaliação foi efetuada em 1999, quando apenas existiam marcas horizontais mínimas e em deficiente estado de conservação na travessia pedonal. Em 2000 realizou-se outra avaliação com a adição de uma nova travessia pedonal, acrescentando marcas e rampas em ambas. A terceira avaliação, efetuada em setembro de 2000, deu-se aquando da instalação do sistema de marcadores luminosos no pavimento com sistema de deteção de peões. Por fim, foram realizadas mais duas avaliações, uma ao fim de nove meses após a instalação dos sistemas e outra ao fim de um ano. A avaliação foi baseada em indicadores tendo em conta os comportamentos dos condutores e peões, opiniões de peões que utilizaram a travessia pedonal e a conspicuidade da travessia pedonal para condutores não avisados. Foram também recolhidos dados adicionais sobre detalhes de fiabilidade do sistema de marcadores luminosos na via durante um ano de operações. (Derlofske et al., 2003).

O local de estudo, situado em Denville, Nova Jérсия, é adjacente a uma interseção principal controlada por sinalização de trânsito entre uma via rápida dividida, com quatro vias de tráfego e uma outra estrada com uma faixa com duas vias de tráfego (Derlofske et al., 2003).

Após a recolha dos dados obtidos nas quatro avaliações efetuadas, procedeu-se à análise e tratamento dos mesmos. Um efeito positivo da aplicação dos marcadores luminosos foi o aumento de visibilidade da travessia pedonal para os condutores que não estavam conscientes da sua localização. Outra vantagem foi a da redução da velocidade média dos veículos quando

estes se aproximavam da travessia pedonal (constatada através da análise dos dados obtidos na terceira avaliação, efetuada imediatamente após a instalação marcadores no pavimento). A instalação deste sistema também reduziu o número médio de veículos que não cediam passagem a peões que estavam já à espera para atravessar. Do ponto de vista da segurança de peões, o estudo revelou que todas estas mudanças foram positivas, contudo, ao longo do tempo, o número médio de conflitos por atravessamento tendeu a aumentar ligeiramente, enquanto a velocidade média com que os veículos se aproximavam da travessia pedonal subiu drasticamente nas avaliações feitas nove meses e um ano após a instalação do sistema. Estas mudanças, indesejáveis, deveram-se provavelmente à fraca fidelidade do sistema de ativação utilizado neste caso. (Derlofske et al., 2003).

As conclusões deste estudo reforçam o ponto de vista que determina que a adição de um sistema de marcadores de advertência no pavimento a uma travessia pedonal já devidamente sinalizada horizontalmente altera ainda mais o comportamento dos condutores de modo a reforçar e beneficiar a segurança dos peões. Contudo, se esses benefícios são suficientes ou não para justificar o custo da instalação deste tipo de sistema é uma questão de julgamento esteve fora do âmbito desse estudo (Derlofske et al., 2003).

2.3.4. Melhoria da qualidade da iluminação pública

Colisões envolvendo peões são uma causa comum de mortes nas estradas, sendo que a visibilidade reduzida, sobretudo à noite, um elemento que contribui para essa estatística. Um objetivo importante da iluminação nas travessias pedonais é a melhoria das condições de visibilidade dos peões que possam estar prestes ou já a atravessar a via (Bullough, Zhang, Skinner, & Rea, 2009).

Tendo em conta a importância da iluminação pública nas travessias pedonais, a metodologia de projeto deve incluir a seleção da luminária a utilizar, sua configuração e finalmente a implementação da solução (Gibbons, Edwards, Williams, & Andersen, 2008).

Ao projetar um sistema de iluminação para uma travessia pedonal, a seleção da luminária apropriada e a altura da mesma são críticas. Como o objeto de interesse é vertical, a distribuição da intensidade deve ter um componente horizontal. Se toda a luz da luminária for direcionada para baixo, o perfil vertical do peão não será devidamente iluminado. A distribuição da intensidade luminosa deve fornecer a quantidade necessária de intensidade luminosa para a geometria requerida. Se a luminária não for capaz de produzir a intensidade requerida, não será adequada para ser utilizada numa travessia pedonal (Gibbons et al., 2008).

No que toca à configuração da solução, muitas entidades instalam uma única luminária diretamente sobre a travessia pedonal. Embora isso ofereça uma iluminação elevada do pavimento na zona da travessia pedonal, não ilumina adequadamente o peão. As luminárias devem estar localizadas de modo a que a iluminação vertical do peão o torne visível a uma distância suficiente. De notar que, para vias com tráfego nas duas direções, particularmente as que não possuem uma separação de faixas, são necessárias duas luminárias localizadas em ambos os lados da via, sendo colocadas antes da travessia pedonal, considerando a perspetiva dos condutores. A Figura 6 ilustra os dois cenários apresentados neste parágrafo (Gibbons et al., 2008).

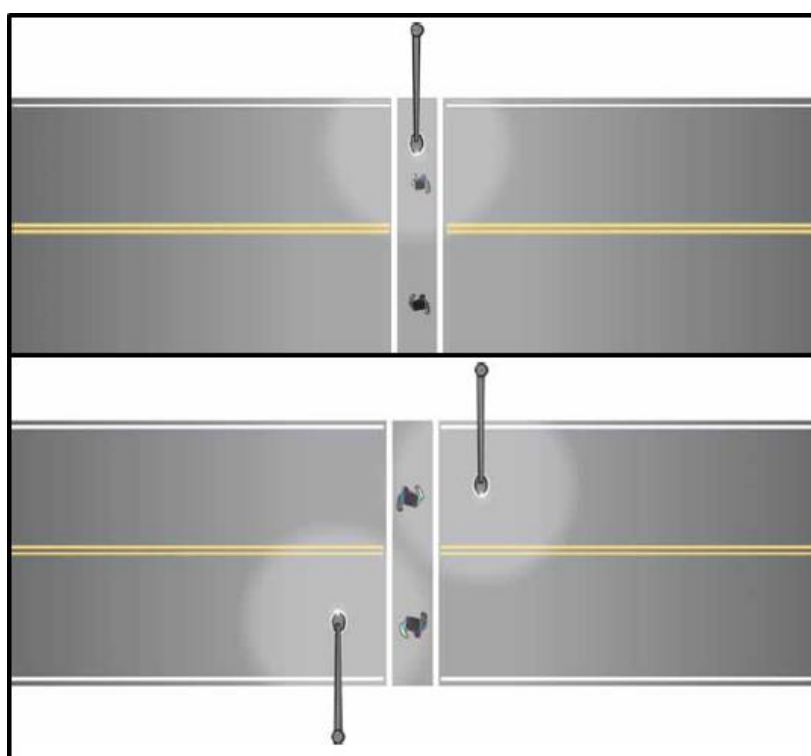


Figura 6. Colocação tradicional de iluminação de uma travessia pedonal (acima); Colocação mais eficiente de iluminação de uma travessia pedonal (abaixo) (Gibbons et al., 2008).

Por fim, e no que toca à implementação da solução, quando uma superfície iluminada do pavimento é vista de um veículo, esta não é uniforme. As áreas mais brilhantes do pavimento estão localizadas entre o condutor e as luminárias que fornecem a luz. A travessia pedonal deve estar localizada de modo a fornecer o nível necessário de iluminação vertical na travessia, para todas as direções de viagem e, se possível, dentro do ciclo das luminárias de modo a que a iluminação da estrada não altere significativamente o contraste do peão à medida que o veículo se aproxima (Gibbons et al., 2008).

Os requisitos para a iluminação de travessias pedonais podem ser modificados com base em certos aspetos do projeto de vias. Brilho, cruzamentos, diferentes tipos de lâmpadas e locais com iluminação ambiente elevada podem influenciar as especialidades da projeção da iluminação pública (Gibbons et al., 2008).

Nambisan, Pulugurtha, Vasudevan, Dangeti e Virupaksha (2009) conduziram um estudo que visava a avaliação da eficácia de um dispositivo automático de deteção de peões e um sistema de iluminação inteligente que poderiam reforçar a segurança dos peões. As avaliações foram baseadas em observações de campo tendo em conta o comportamento dos peões e condutores antes e depois da instalação do sistema (Nambisan, Pulugurtha, Vasudevan, Dangeti, & Virupaksha, 2009)

O estudo foi realizado em Las Vegas, no estado do Nevada, mais precisamente num local a meio de um quarteirão, num local onde existem vários complexos de escritórios, lojas de pequeno comércio, restaurantes e apartamentos. No local de estudo e durante o período em análise, entre 1996 e 2000, ocorreram cerca de 11 colisões envolvendo peões, sendo que 45% das colisões (5 colisões envolvendo peões) ocorreram durante períodos noturnos e de escuridão (Nambisan et al., 2009).

Através da análise de dados de colisões e observações de campo registaram-se vários problemas. Os problemas identificados foram: a não existência de travessia pedonal no local antes da implementação das medidas aplicadas por este estudo; a maioria dos condutores não cediam a passagem aos peões para atravessar a estrada; normalmente os peões não aguardavam por um espaço aceitável no tráfego para atravessar; e, por fim, uma grande percentagem de colisões envolvendo peões ocorreram durante a noite (Nambisan et al., 2009).

Um dos sistemas implementados, o sistema de iluminação inteligente, foi aplicado junto à travessia pedonal. Quando acionado pelos peões que a atravessavam, o nível de iluminação dessa mesma travessia aumentava utilizando luzes de alta intensidade. O nível mais elevado de iluminação era mantido apenas enquanto o peão era detetado na travessia pedonal. Este aumento repentino servia para alertar os condutores da presença de peões na travessia. Esta estratégia aborda os problemas relacionados com a relutância dos condutores em ceder a passagem aos peões e, em simultâneo, à elevada proporção de colisões noturnas. Já o outro sistema implementado, o dispositivo de deteção automática de peões, tinha como objetivo a deteção da presença de peões perto da travessia pedonal, ativando assim o sistema de iluminação inteligente, aumentando a iluminação da travessia pedonal. (Nambisan et al., 2009).

As medidas de efetividade pretendidas neste estudo foram sete, sendo elas: se o peão olhava para a esquerda antes de começar a atravessar; se o peão olhava para a direita antes de

atravessar a segunda metade da estrada; peões que tiveram que fazer um desvio ou se alteraram o seu trajeto habitual para utilizar a travessia pedonal; peões presos na via; atrasos de peões; se o condutor cedeu passagem ao peão; a distância a que o veículo cujo condutor cedeu passagem parou à montante da travessia pedonal (Nambisan et al., 2009).

Os resultados das observações de campo e estatísticas analíticas mostraram que a implementação dos sistemas melhorou a segurança dos peões. Os resultados indicaram que houve um aumento de peões a fazer um desvio ou alterar o seu trajeto habitual para utilizar a travessia pedonal, bem como uma diminuição de peões retidos na via, o que revela que os sistemas atraíram a atenção dos peões. Houve também a indicação de um aumento substancial na quantidade de condutores a ceder passagem a peões. No geral, os resultados indicaram que a utilização do dispositivo de deteção automático de peões e do sistema de iluminação inteligente teve efeitos positivos no que diz respeito aos comportamentos de condutores e peões, aumentando o sentido de alerta de ambos, reforçando assim a segurança dos peões (Nambisan et al., 2009).

2.3.5. Instalação de sensores de deteção automática de peões

Os sistemas de deteção automática de peões detetam a presença de pessoas que estejam à espera para atravessar a via e ativam automaticamente o sinal verde do semáforo sem qualquer tipo de ação direta necessária por parte do peão, como por exemplo, ao pressionar uma botoneira. Uma característica adicional dos dispositivos de deteção em alguns locais é a possibilidade de se adicionar outro sensor destinado a peões com dificuldade de mobilidade, prolongando assim o intervalo de passagem até que o peão esteja seguro no outro lado da via (Mead et al., 2014). A Figura 7 ilustra um sistema de deteção automática de peões em funcionamento.

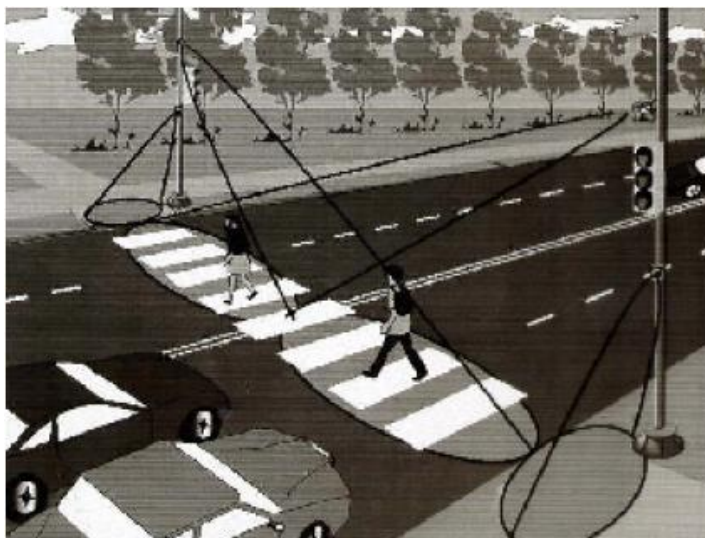


Figura 7. Sistema de deteção automática de peões (Hughes, Huang, Zegeer, & Cynecky, 2001).

Os sensores de deteção automática de peões são baseados em diversas tecnologias de deteção, tais como, micro-ondas ou infravermelhos e até mesmo o uso de câmaras. No que toca às câmaras, atualmente existem duas linhas principais de trabalho, uma baseada em imagens do espectro visível e outra, motivada principalmente pelo período noturno, baseada no infravermelho térmico. A primeira linha de trabalho é a mais usual devido à facilidade com que os sensores de imagem trabalham durante o espectro visível, ao facto de ter um preço mais acessível, à melhor relação sinal-ruído e resolução e porque a maioria dos acidentes acontecem durante o dia (“Pedestrian Detection – Elektra,” 2016). Mercarias, lojas, bancos e entradas para edifícios públicos são exemplos de locais em que a tecnologia de infravermelhos é utilizada para detetar a presença de pessoas. Esses sensores funcionam através da deteção de mudanças na radiação térmica causada por movimento de peões na zona alvo. Um atraso é incorporado para que as pessoas sejam detetadas se permanecerem na zona de deteção por um período superior ao período mínimo de tempo. Esse atraso serve para impedir atuações falsas resultantes de pessoas que simplesmente passam pela zona de deteção e não pretendem atravessar a via (Nambisan et al., 2009). Os sensores que utilizam a tecnologia de micro-ondas geram um feixe de energia com uma frequência específica. A base para deteção é a capacidade do dispositivo em detetar uma diferença nas frequências do feixe de saída e do feixe refletido de volta (efeito Doppler). O feixe deve ser direcionado com precisão, especialmente quando o tamanho do objeto a ser detetado (por exemplo um peão) é significativamente menor que o de outros objetos em movimento (por exemplo veículos) (Hughes et al., 2001).

Um estudo conduzido por Hughes *et al.* (2001) teve como objetivo avaliar se um sistema de detecção automática de peões, quando utilizado em conjunto com um sistema ativo de sinalização para peões (sistema com botoneira para os peões pressionarem), resultaria em menos atravessamentos inapropriados e conflitos entre peões e veículos (Hughes et al., 2001).

Foram instalados sistemas de detecção automática em Los Angeles, Califórnia (infravermelhos e micro-ondas), em Phoenix, Arizona (micro-ondas) e em Rochester, Nova Iorque (micro-ondas). No local de estudo em Los Angeles foi também adicionado um segundo sistema de detecção automática, com o intuito de estender o intervalo de tempo de atravessamento até aos peões se encontrarem a salvo do outro lado da via. Em todos os locais onde se procedeu à instalação dos sistemas automáticos já existiam sistemas ativos de sinalização (botão para peões pressionar) que continuaram ativos após a instalação dos sistemas automáticos (Hughes *et al.*, 2001).

O método de estudo consistiu na gravação em vídeo dos comportamentos dos condutores e peões antes e depois da instalação dos sistemas automáticos, sendo que os dados foram recolhidos sob três condições: todos os sistemas automáticos desligados; apenas o sensor infravermelho ativo; apenas os sensores micro-ondas ativos (Hughes et al., 2001).

Após tratamento e a análise dos dados recolhidos, constatou-se que os sensores de detecção automática de peões quando aplicados em conjunto com sistemas de sinalização ativos podem fornecer benefícios operacionais e de segurança significativos. É estimado que a redução na probabilidade de ocorrência de atravessamentos inadequados, bem como de conflitos entre veículos e peões esteja relacionada com o reforço da segurança dos peões. É esperado que o desenvolvimento e melhoria deste tipo de sistema com sensores continue a evoluir, tendo em conta os seus potenciais benefícios. São também necessárias melhorias na precisão da detecção, de modo a reduzir o número de falsas detecções e chamadas perdidas nas interseções. Em suma, este estudo demonstrou que a utilização do sistema de detecção automática resulta em alterações positivas nos comportamentos dos peões durante fases críticas da sequência de travessia, diminuindo assim a hipótese de conflitos envolvendo condutores de veículos e peões (Hughes et al., 2001).

2.4.Síntese Geral

Neste capítulo foram abordadas algumas das principais causas de acidentes nas travessias pedonais e algumas das medidas de reforço da segurança normalmente aplicadas.

Nas causas mais comuns encontram-se o excesso de velocidade, o excesso de álcool no sangue, a iluminação/período do dia, bem como as zonas e localizações de risco. No caso do excesso de velocidade destacam-se os curtos tempos de reação e a elevada probabilidade de ferimentos graves ou até morte para o peão em caso de colisão. O excesso de álcool no sangue, tanto dos condutores como dos peões, é claramente a condição que mais põe em risco a segurança tendo em conta que uma pessoa quando está sob a influência do álcool não está no pleno das suas faculdades intelectuais e motoras, o que leva a que existam comportamentos de risco graves. A questão da iluminação/período do dia tem como condicionante maior a dificuldade dos condutores em identificar os peões. Apesar da maioria dos acidentes nas travessias pedonais acontecerem durante o dia, o número de acidentes que ocorre durante o período noturno é elevado tendo em consideração os volumes de tráfego a circular nesses períodos. Por fim, nas zonas e localizações de risco, e apesar de a esmagadora maioria dos acidentes ocorrer dentro das localidades, são os que ocorrem fora destas que apresentam uma situação mais gravosa visto que fora das localidades as velocidades praticadas pelos veículos são mais elevadas e as infraestruturas pedonais são escassas comparativamente a dentro das localidades.

Nas medidas de reforço estão presentes a marcação no pavimento, os sinais luminosos intermitentes, os marcadores luminosos de pavimento, a melhoria da iluminação pública e sensores de deteção automática. Alguns destes necessitam de ser implementados juntamente com outros, como por exemplo, as marcações de pavimento devem ser acompanhadas de sinalização vertical e os sensores de deteção automática devem ser acompanhados de algum tipo de sinalização luminosa, quer seja intermitente ou de pavimento. Tendo em conta os casos de estudo apresentados para cada uma das medidas de reforço é possível concluir que em todas elas se denotam melhoramentos comportamentais, tanto por parte dos condutores como dos peões, dando mais visibilidade à travessia e aos peões e oferecendo os recursos necessários para que os peões façam o seu atravessamento de forma mais segura, sabendo que os condutores estão a ser alertados para a sua presença.

3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E MELHORIA DE TRAVESSIAS PEDONAIS

3.1. Critérios de Seleção de Travessias Pedonais

Qualquer que seja o tipo e a localização da travessia pedonal, a sua formalização depende de vários fatores que envolvem, por um lado, o custo de instalação e manutenção, e por outro, os benefícios que são esperados obter em termos de segurança, comodidade e eficiência, sendo que, geralmente, deverá ser considerada a instalação de uma travessia pedonal quando se verificar uma das seguintes condições (Seco et al., 2008):

- Há atravessamentos significativos não formalizados ao longo de um comprimento apreciável (superior a 100 metros) da faixa de rodagem, que colocam em perigo a integridade física dos peões e/ou obrigam a constantes interrupções da circulação automóvel, pelo que a concentração dos atravessamentos num único local contribuirá para uma melhor gestão do tráfego nessa zona;
- Há um número elevado de conflitos entre veículos e peões, tendo estes menos de uma oportunidade de atravessamento por minuto;
- Há um importante polo gerador de peões, em particular se se tratar de escolas, hospitais e lares da 3ª idade (Seco et al., 2008).

Outros critérios aplicáveis baseiam-se nos fatores que condicionam o desempenho da travessia, nomeadamente, os atrasos de veículos e peões, a velocidade dos veículos, os volumes de peões e veículos, os intervalos de tempo entre veículos, o número de acidentes e ou conflitos graves, a proteção de crianças ou idosos, a continuidade do percurso pedonal, etc, sendo que a escolha do tipo de solução a adotar não depende apenas de um critério, mas antes de uma combinação de vários conjugados, com uma cuidadosa apreciação da situação baseada na experiência e conhecimentos técnicos do responsável pela sua implementação. Os indicadores utilizados para a escolha da travessia pedonal a adotar traduzem, em geral, o nível de conflito entre o veículo e o peão e a sinistralidade, sendo considerados os volumes dos peões e dos veículos conflitantes, e o número médio de acidentes ocorridos durante um certo período de tempo (Seco et al., 2008).

Apesar dos princípios básicos subjacentes à definição dos critérios de seleção das tipologias de travessias pedonais serem bastante consensuais, a forma de quantificação e

aplicação variam de forma diferente tendo em conta o país onde foram desenvolvidos e são aplicados (Seco et al., 2008).

3.1.1. Critério de aplicação de travessias pedonais do Institute of Transportation Engineers

O *Institute of Transportation Engineers (ITE)* é uma associação internacional de profissionais de transporte que trabalham para melhorar a mobilidade e a segurança de todos os utilizadores do sistema de transporte e ajudam a construir comunidades inteligentes e habitáveis. Para o ITE, a ferramenta mais essencial para a aplicação das travessias pedonais é o julgamento dos engenheiros. Nenhum conjunto de diretrizes consegue cobrir todas as condições ou garantir maior segurança, no entanto, o uso excessivo destas diretrizes deve ser evitado para maximizar a eficácia das travessias pedonais. As agências também devem procurar a uniformidade para oferecer aos condutores de veículos e peões um ambiente de tráfego consistente e previsível. (ITE, 1998).

O ITE recomenda que em determinadas condições não é necessária a instalação de travessias formalizadas, tais como, volumes de peões na hora de ponta muito baixos (< 25 peões/hora em 4 horas) ou quando o volume de tráfego de veículos é muito baixo (TMDA < 2000 veíc./dia) (Seco et al., 2008).

Smith e Knoblauch desenvolveram critérios abertos relacionando volumes de peões e veículos para determinar quando as marcações na travessia pedonal podem ser benéficas (Figura 8). O gráfico desenvolvido tem em consideração as larguras das ruas e outros fatores (como concentrações de crianças ou idosos e peões com deficiência). A satisfação desses critérios não significa que sejam necessárias marcações na travessia pedonal, mas indica que os seus benefícios podem superar as possíveis desvantagens e podem ser úteis (ITE, 1998).

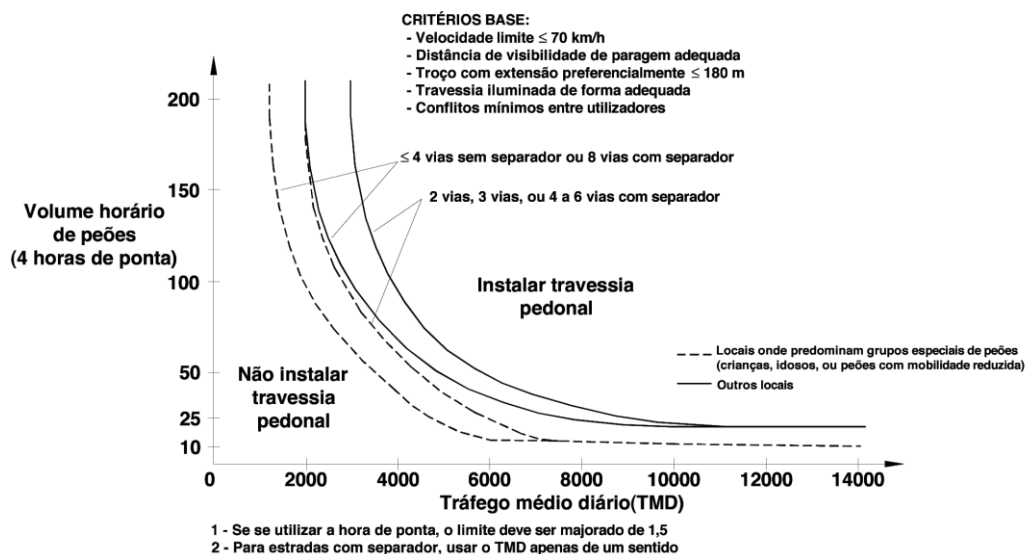


Figura 8. Critério ITE de instalação de travessias pedonais ITE, 1998; adaptado de Seco et al., 2008)

3.1.2. Critério de aplicação de travessias pedonais do Reino Unido

No Reino Unido, o critério de aplicação de travessias pedonais é ligeiramente diferente.

Na Figura 9, onde está representado o gráfico correspondente com as regras básicas seguidas no Reino Unido, a seleção das tipologias de atravessamento pedonal de nível faz-se parcialmente em função do indicador de exposição dado pelo produto PV^2 onde P representa o débito horário de peões que pretende atravessar a faixa de rodagem numa extensão de 100 metros centrada no local previsto para a travessia e V é o volume horário dos veículos no conjunto dos 2 sentidos. Estes valores referem-se à média das 4 horas do período de ponta, formalizando-se a travessia se o valor de PV^2 for superior a 10^8 . No caso de existir separador central de refúgio de peões aquele limite passa para 2×10^8 . As travessias tipo “Zebra” apenas devem ser consideradas em locais onde a velocidade dos veículos seja inferior a 50 km/h (Seco et al., 2008).

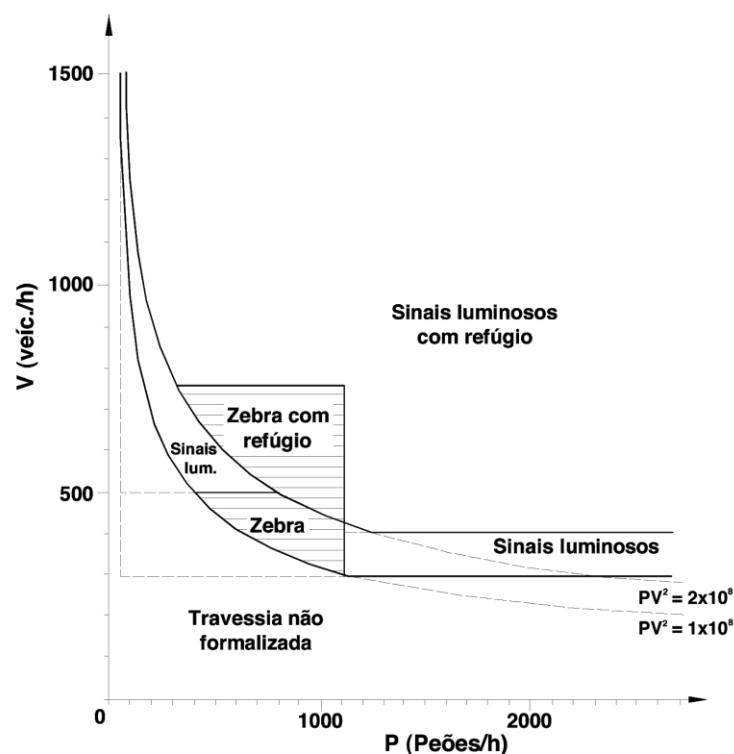


Figura 9. Critério Reino Unido para instalação de travessias pedonais (HSMO, 1987; citado em Seco et al., 2008)

Estes critérios não têm em consideração o efeito do número de vias e certos fatores microscópicos, como tamanho do intervalo e o atraso. Os critérios baseados no do PV^2 foram amplamente adotados e modificados por vários países do Reino Unido e certos países em desenvolvimento por todo o mundo (Jain & Rastogi, 2016).

Em 1995, o Departamento dos Transportes do Reino Unido criou, juntamente com outras agências, a Nota de Transporte Local (LTN) 1/95, sugerindo que a decisão de aplicação de uma travessia pedonal, bem como o seu tipo, deverá ser efetuada através de um julgamento equilibrado, baseando-se na consideração dada a todas as informações incluídas na estrutura de avaliação do local fornecida no relatório. O tipo de travessia a ser aplicada seria avaliada tendo em conta fatores como a dificuldade em atravessar, baseando-se no tempo de espera e tamanho do intervalo, entre outros. Desde a publicação deste documento, vários concelhos municipais no Reino Unido começaram a desenvolver as suas próprias políticas no que toca a travessias pedonais, utilizando uma combinação do critério do PV^2 com as informações incluídas na estrutura de avaliação do local reportadas pelo Departamento dos Transportes e a LTN-1/95. Grande parte destes concelhos municipais utilizam um critério de pré-qualificação baseado no valor observado no PV^2 , realizando de seguida a estrutura detalhada de avaliação do local para recolher informações acerca de fatores como a proporção de idosos, crianças, ciclistas e pessoas

em cadeiras de rodas, as categorias dos veículos, a largura da estrada, o tempo de espera, a velocidade dos veículos, histórico de acidentes, entre outros (Jain & Rastogi, 2016).

3.1.3. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Australianas e Neozelandesas

Segundo as Normas Australianas, a adoção de uma travessia pedonal semaforizada fora dos cruzamentos requer que se verifique uma das seguintes condições (Seco et al., 2008):

- Volume de peões superior a 350 peões/h e volume de veículos superior a 600 veic/h no conjunto dos 2 sentidos, ou 1000 veic/h no caso de existir uma placa central de refúgio para peões. Estes valores devem observar-se num período de 3 horas de um dia normal da semana.
 - Para cada uma das 8 horas de um dia laboral:
 - Volume de peões superior a 175 peões/h;
 - Volume de veículos superior a 600 veic./h em ambos os sentidos ou 1000 veic./h no caso de existir separador central de refúgio de peões;
 - Não existir outra travessia pedonal nas proximidades.
 - Em frente a uma escola, se em 2 períodos distintos de 1 hora de um dia normal de aulas ocorrer simultaneamente:
 - Volume de peões superior a 50 peões/h;
 - Volume de veículos superior a 600 veic./h;
 - Não existir outra travessia pedonal nas proximidades.
 - A travessia existente não semaforizada tem um nível de perigosidade elevado devido ao comprimento do atravessamento, ou a velocidades ou volume de tráfego elevados.
 - Na travessia pedonal existente não semaforizada ou próximo dela, tiverem ocorrido 2 ou mais acidentes em 3 anos, suscetíveis de serem evitados com sinalização luminosa.
 - Na travessia pedonal existente a simultaneidade de volumes elevados de peões e veículos provocar atrasos excessivos aos veículos.

Para além destas condições recomenda-se a instalação de sinais luminosos em travessias pedonais sempre que estejam localizadas próximo de importantes polos geradores de tráfego de

peões ou que haja necessidade de proteger peões com características especiais (peões de mobilidade reduzida, motores, crianças, idosos, etc.) (Seco et al., 2008).

No que toca à Nova Zelândia, em 2007, a Agência dos Transportes Neozelandesa criou um documento com diretrizes focadas na segurança dos peões. As diretrizes seguem um processo sistemático utilizando tabelas e fluxogramas. A Figura 10 mostra um fluxograma que, em primeiro lugar, verifica se um local específico se qualifica para a aplicação de travessia pedonal ou não (Jain & Rastogi, 2016).

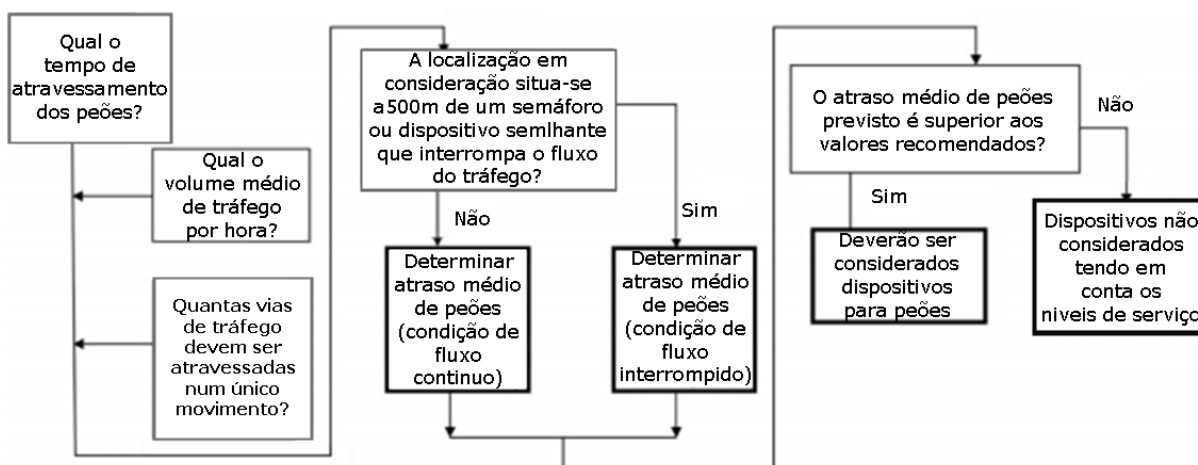


Figura 10. Fluxograma baseado nos níveis de serviço (NZ Transport Agency, 2007; adaptado Jain & Rastogi, 2016)

Investigadores australianos concluíram que uma ferramenta comum de aplicação de travessias pedonais seria apropriado para Austrália e Nova Zelândia, tendo em conta que ambos os países partilham o mesmo conjunto de diretrizes em várias áreas, como engenharia de tráfego e segurança e projeto de estradas (Jain & Rastogi, 2016).

3.1.4. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Canadianas

O Manual de Controlo de Travessias Pedonais de British Columbia (PCCMBC) é o documento utilizado no Canadá para questões relacionadas com travessias pedonais, fornecendo recomendações para o tipo de travessia a ser aplicada para um determinado número de oportunidades de atravessamento e a unidade de adulto equivalente (UAE) de peões por hora. O número de oportunidades de atravessamento é igual ao número de intervalos entre veículos aceites. A unidade de adulto equivalente é uma ponderação relativa de peões baseada em faixas etárias, sendo multiplicado pelo número de peões para obter os UAE correspondentes. Os

fatores UAE considerados nesta diretriz para diferentes categorias de peões estão representados na Tabela 3 (Jain & Rastogi, 2016).

Tabela 3. Fatores UAE (Jain & Rastogi, 2016)

Crianças (< 12 anos)	2,0
Idosos (> 65 anos)	1,5
Deficientes físicos	2,0
Adultos	1,0

A Figura 11 apresenta o gráfico que recomenda o tipo de travessia e respetiva sinalização a ser aplicada num determinado local tendo em conta o número de peões e oportunidades de atravessamento por hora. Os tipos de travessia vão desde a travessia pedonal marcada e sinalizada, a travessia pedonal especial que é uma travessia pedonal com sistemas de controlo de tráfego instalados para ajudar os peões que a pretendam atravessar, alertando os condutores de veículos para a sua presença, e as travessias pedonais semaforizadas. O comportamento dos peões é tido em conta considerando o número de oportunidades de atravessamento como um critério de justificação. Para travessias de nível, o documento sugere que não deve haver normas e deve ser considerado caso a caso (Jain & Rastogi, 2016).

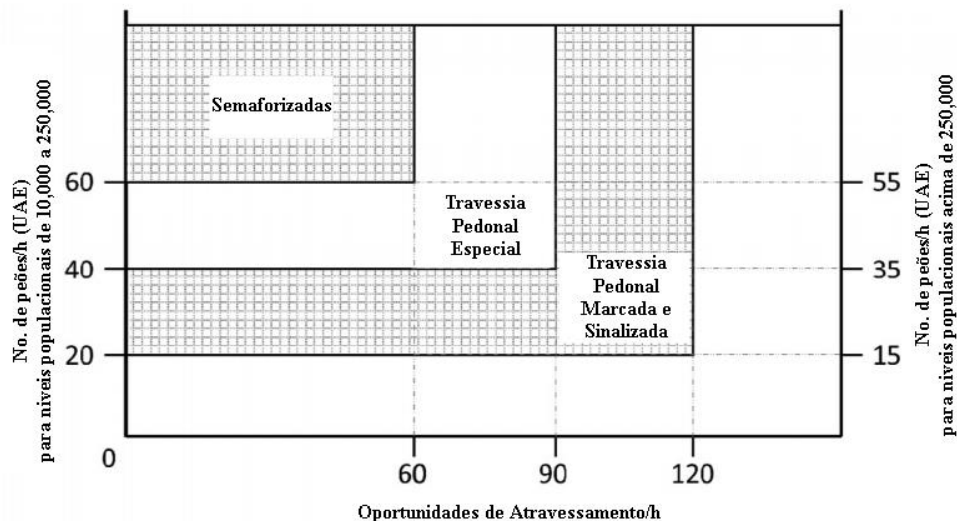


Figura 11. Gráfico de recomendação para aplicação de travessias pedonais (PCCMBC, 1994; adaptado Jain & Rastogi, 2016)

3.1.5. Critério de aplicação de travessias pedonais segundo as Normas Americanas

Segundo as Normas Americanas, a adoção de travessias desniveladas justifica-se se, no período de ponta de 4 horas, o volume de peões for superior a 300, e o volume de veículos exceder 10000 veículos nessas 4 horas ou o tráfego médio diário (TMD) for maior do que 35000 veic./dia. No que respeita à velocidade média dos veículos, esta deve ser superior a 60 km/h. Por outro lado, não deverá existir a uma distância de 200 m qualquer travessia pedonal que possa ser utilizada em absolutas condições de segurança (semaforizada ou desnivelada) (Seco et al., 2008).

O principal guia atual para aplicação de travessias pedonais nos Estados Unidos da América é o *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD) de 2009. Os critérios para travessias são baseados em volume de peões e veículos, bem como a velocidade dos veículos, tendo sido utilizada uma gama ampla de fluxos de peões e veículos, apresentados em forma de gráfico, representado na Figura 12. No gráfico estão representadas quatro curvas baseadas no volume de peões em quatro horas e hora de ponta, bem como o volume de veículos. É recomendada a aplicação de semaforização caso o ponto que representa o volume de peões e veículos se encontre acima da respetiva curva (Jain & Rastogi, 2016).

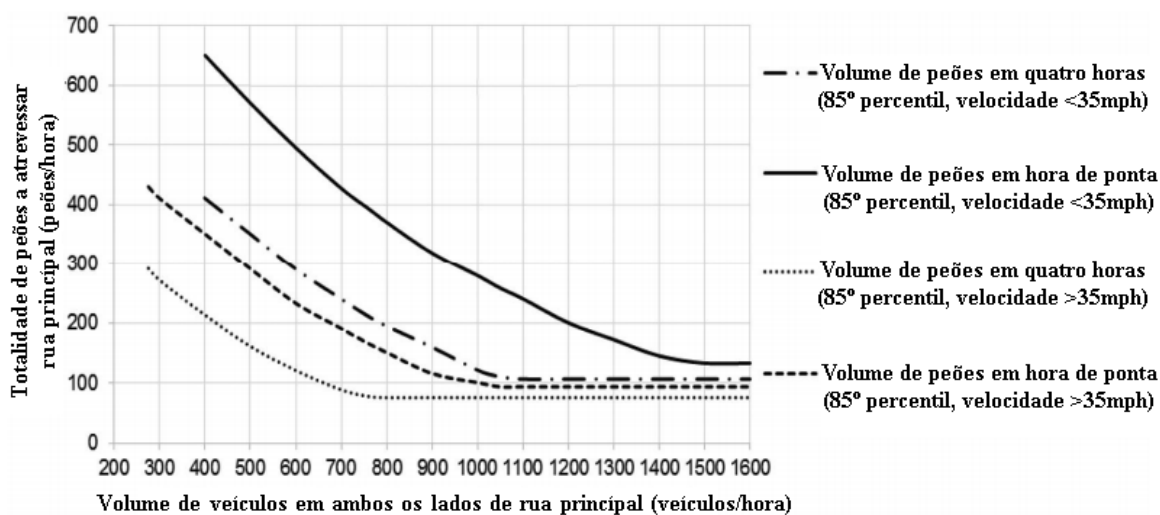


Figura 12. Gráfico para travessias pedonais do MUTCD (MUTCD, 2009; adaptado Jain & Rastogi, 2016)

3.2. Critérios para Melhoria de Travessias Pedonais

Para determinar se uma travessia pedonal deve ser formalizada e se serão necessárias medidas adicionais para melhoria da segurança, devem ser realizados estudos ao nível de engenharia.

Alguns exemplos destas medidas passam por refúgios de peões a meio da estrada, travessias pedonais elevadas, sinalização vertical intermitente, estreitamento da via no local da travessia, entre outras. A primeira etapa de um estudo desse tipo tem o propósito de determinar a necessidade do atravessamento, tendo em conta (Washington State Department of Transportation, 2018):

- Gravidade e frequência do histórico de acidentes com peões;
- Volume de peões;
- Atividade conhecida de travessia de peões em condições escuras ou noturnas;
- Proximidade com cruzamentos aprimorados adjacentes;
- Proximidade de paragens de trânsito, caminhos de uso compartilhado ou outros geradores de peões (centros de emprego, escolas, parques, restaurantes, bares, empresas, serviços de saúde, etc.);
- Fim para que o terreno é utilizado e futuras alterações da sua utilização, crescimento ou padrões de desenvolvimento;
- Dados demográficos da população do local (consideração especial para comunidades onde há um número maior de pessoas com mais de 65 anos e pessoas com deficiência);
- Atraso de peões ou adequação de lacunas;
- Coerência com os planos das entidades locais que incluem o local como parte da sua rede de peões.

A segunda etapa do estudo é avaliar a travessia com base nas seguintes características da estrada e de tráfego (Washington State Department of Transportation, 2018):

- Volumes de tráfego (TMD);
- Velocidade legal;
- Número de vias;
- Presença de separação de faixas de rodagem;
- Distância de visibilidade do condutor e do peão;
- Proximidade de travessias aprimoradas nas redondezas;
- Iluminação;
- Presença de estacionamento na rua.

A seleção das medidas de melhoria da segurança é baseada nas características referidas acima, bem como fatores adicionais que possam ser relevantes para cada local (por exemplo, a percentagem de tráfego de camiões). A análise de tráfego operacional pode também ser

necessária para avaliar a pertinência das medidas de melhoria a utilizar em cada local. A seleção de quaisquer reforços de travessia, incluindo marcações de calçada, placas ou outros recursos num local não controlado deve exigir a aprovação do engenheiro de trânsito da região ou de uma pessoa designada para esse efeito (Washington State Department of Transportation, 2018).

No subcapítulo seguinte, é utilizado um exemplo de um reforço numa travessia pedonal, no caso, a utilização de luzes intermitentes.

3.2.1. Quando utilizar a sinalização vertical intermitente como medida de melhoria da segurança

A sinalização vertical intermitente é utilizada para complementar marcações de pavimento e emitir sinais de alerta para a presença de peões numa travessia pedonal marcada. Estas devem ser ativadas pelos peões. A Tabela 4 descreve as condições sob as quais a sinalização vertical intermitente e sinalização vertical intermitente avançada devem ser aplicadas. Estas últimas devem ser utilizadas quando a distância de visibilidade não é adequada para o uso do sistema de luzes normal.

Tabela 4. Utilização de luzes intermitentes por configuração da estrada (Washington State Department of Transportation, 2018)

Tipo de Estrada	Limite de Velocidade (Km/h)	Sinalização Vertical Intermitente	Sinalização Vertical Intermitente Avançada
Duas ou mais vias de tráfego em cada direção, com separação de faixas	≥ 65	Requer	Opcional
	55	Opcional	Opcional
	≤ 50	Não Requer	Não Requer
Bidirecional - duas ou três vias (com faixa de curva à esquerda ou separação de faixas)	≥ 65	Requer	Opcional
	55	Opcional	Opcional
	≤ 50	Não Requer	Não Requer
Um sentido - duas ou mais vias	≥ 65	Requer	Opcional
	55	Opcional	Opcional
	≤ 50	Não Requer	Não Requer
Rotundas	N/A	Contactar Entidade Reguladora	

3.2.2. Seleção entre solução semaforizada, faróis híbridos e sinalização vertical intermitente (Estados Unidos)

A solução semaforizada para peões pode ser considerada para aplicação em travessias pedonais de volume elevado com base no julgamento da engenharia. O MUTCD contém procedimentos de garantia para sistemas convencionais de soluções semaforizadas para peões com base nos volumes de tráfego de veículos para ajudar a determinar se a sua aplicação é apropriada. Esses sinais são normalmente considerados quando há mais de 130 peões por hora a atravessar uma estrada (City of Boulder - Transportation Division, 2011).

Os faróis híbridos servem para alertar os condutores da presença de peões numa travessia pedonal, utilizando uma sequência de sinalização intermitente amarela para sinalização vermelha, interrompendo o tráfego apenas quando necessário. Este tipo de faróis também pode ser considerado e o MUTCD contém diretrizes que utilizam volumes de tráfego, velocidade de veículos e peões e distância de travessia. Os faróis híbridos podem ser instalados onde o volume de atravessamento é tão baixo quanto 20 peões por hora, dependendo da distância de travessia, volume de tráfego de veículos e julgamento de engenharia (City of Boulder - Transportation Division, 2011). A Figura 13 demonstra o método de funcionamento dos faróis híbridos.

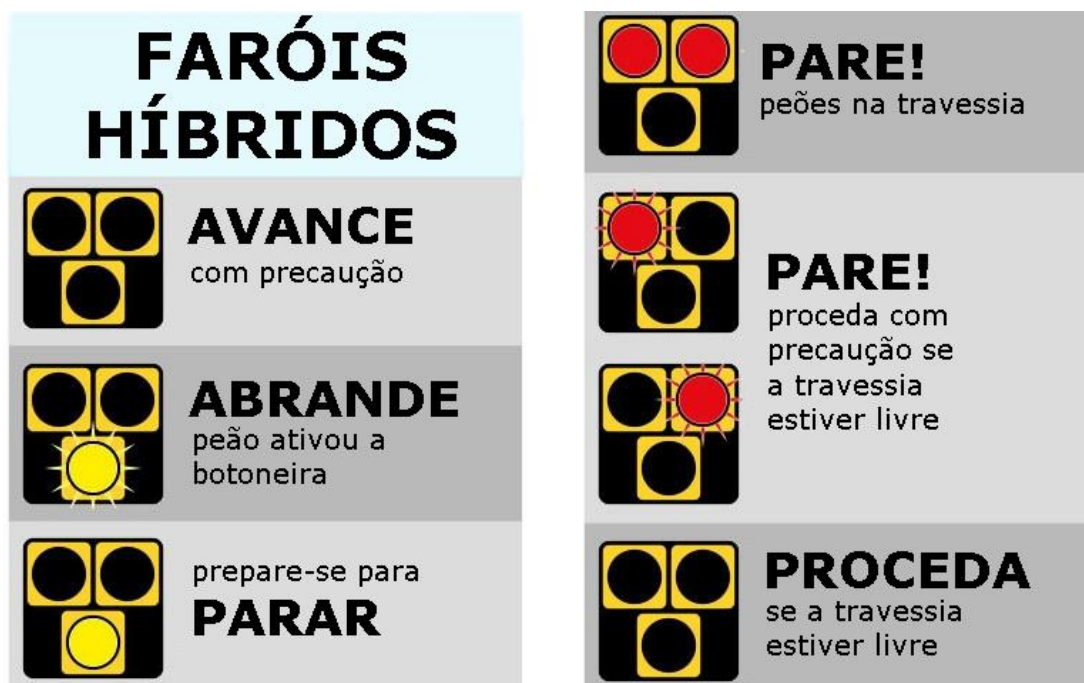


Figura 13. Método de funcionamento dos faróis híbridos (adaptado de “How to Use the HAWK Signal,” 2018)

As Figuras 14 e 15 ilustram as recomendações da cidade de Boulder, no estado do Colorado, para a aplicação da sinalização vertical intermitente (RRFB), faróis híbridos (HAWK) e soluções semaforizadas para peões que cumprem as diretrizes do MUTCD. Estas recomendações são baseadas em avaliações operacionais e de segurança realizadas ao longo dos anos em locais com alto volume de luzes intermitentes rápidas (City of Boulder - Transportation Division, 2011).

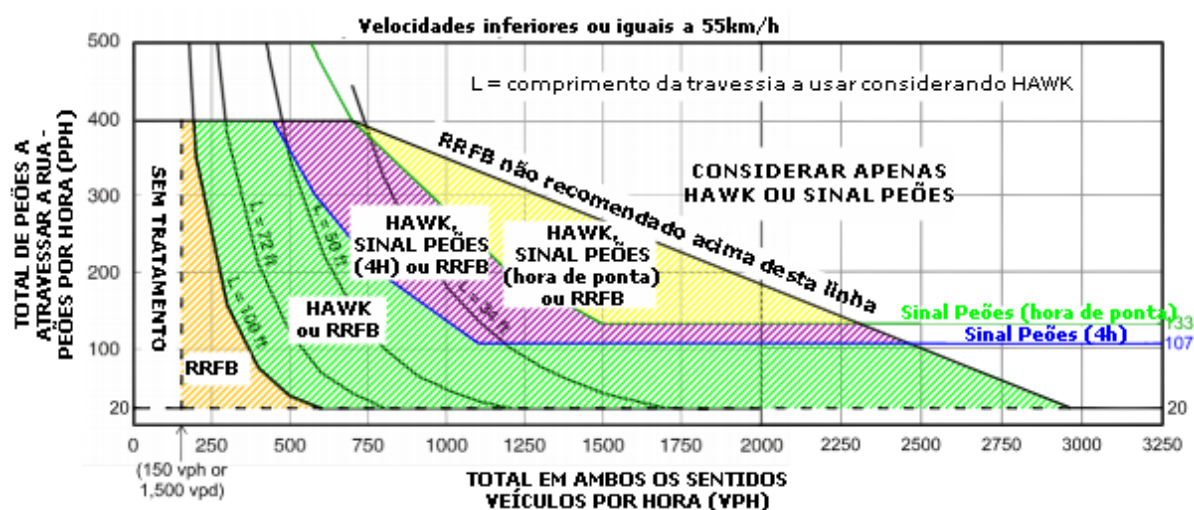


Figura 14. Guias para a instalação de luzes intermitentes rápidas, faróis híbridos e soluções semaforizadas em estradas de velocidade reduzida (City of Boulder - Transportation Division, 2011)

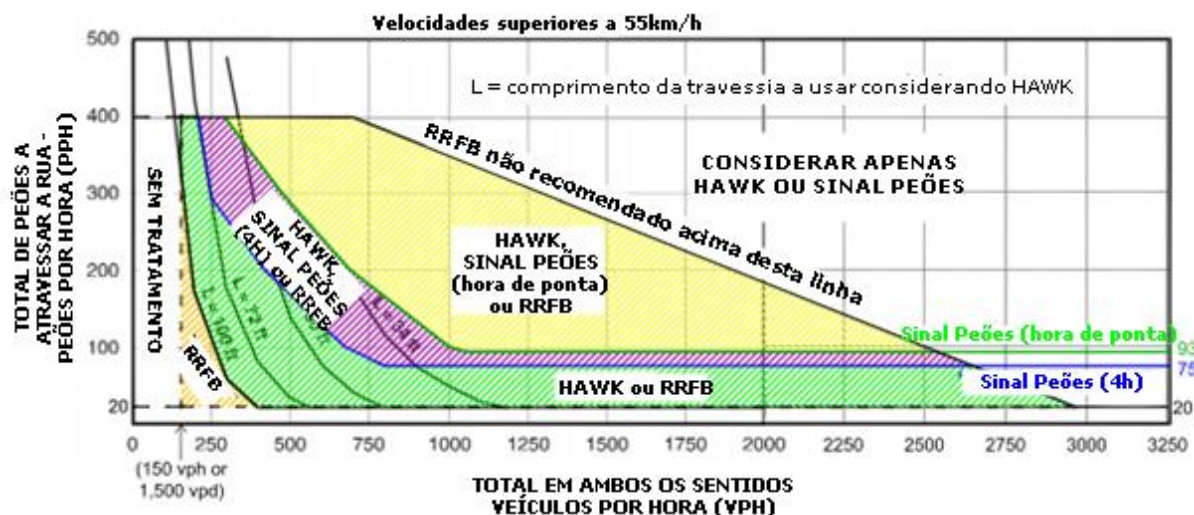


Figura 15. Guias para a instalação de luzes intermitentes rápidas, faróis híbridos e soluções semaforizadas em estradas de velocidade elevada (City of Boulder - Transportation Division, 2011)

Em muitos casos, tanto os faróis híbridos como as luzes intermitentes rápidas podem ser considerados para aplicação, sendo que a decisão final deve ser baseada no julgamento da

engenharia. Os fatores que devem ser considerados nessa decisão incluem: volumes de veículos, bicicletas e peões, velocidade dos veículos, distâncias de travessia, presença de separação de faixa ou não, impacto potencial na progressão do sinal do corredor, proximidade de interseção sinalizada e formação de filas de veículos (City of Boulder - Transportation Division, 2011).

De notar que este subcapítulo recai sobre as normas Americanas, sendo que na Europa não é muito usual a utilização deste tipo de reforço de segurança nas travessias pedonais.

3.3.Síntese Geral

Neste capítulo foram abordados critérios de seleção de travessias pedonais em vigor em alguns dos principais países desenvolvidos, bem como critérios de melhoria de travessias pedonais.

Para os critérios de seleção de travessias pedonais, foram apresentados os exemplos do ITE, Canadá, Nova Zelândia, Reino Unido, Austrália e Estados Unidos da América, sendo que nestes últimos dois casos, os critérios tinham em consideração travessias pedonais semaforizadas. Algo comum a quase todas elas é que a seleção de travessias pedonais não depende apenas de um critério mas sim de um conjunto e combinação de vários. À exceção do Reino Unido, onde o único critério utilizado é o volume, tanto de peões como de veículos (PV^2), todos os outros entram com outros critérios juntamente com os volumes, como a geometria e características físicas da estrada, os tempos de atravessamento, entre outros. No caso de Portugal, costuma-se olhar para o nível de conflito entre o veículo e o peão e a sinistralidade. Os critérios geralmente utilizados para decidir a implementação de uma travessia pedonal são os volumes de tráfego e peões e o número de acidentes num determinado período de tempo

Relativamente aos critérios de melhoria de travessias pedonais, foram apresentados dois exemplos bastante comuns nos Estados Unidos da América que poderiam ser adaptados à realidade europeia e, mais concretamente, portuguesa. Apesar da sinalização de faróis híbridos não ser utilizada em Portugal, os critérios podiam ser adaptados de modo a ser considerada apenas a implementação de sinalização intermitente ou semaforizada, que são os tipos de sinalização luminosa utilizada em Portugal.

4. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

4.1. Introdução

Com o evoluir dos tempos, a compreensão dos problemas de segurança tem-se vindo a provar difícil para os engenheiros e projetistas. Tradicionalmente, os problemas de segurança são identificados através da análise de relatórios de acidentes, apenas identificando-se soluções e melhorias após a ocorrência de colisões e acidentes, não sendo tais métodos suficientes para entender completamente e abordar efetivamente as preocupações com a segurança dos peões. Esperar que os acidentes aconteçam para se tomarem medidas de segurança tem um preço elevado, tendo em conta que os acidentes envolvendo peões tendem a ser graves. Uma abordagem diferente consiste na realização de inspeções de segurança com o objetivo de identificar potenciais perigos, que são avaliados através da medição de riscos em relação às características da estrada que podem vir a proporcionar colisões futuras, para que tratamentos de reforço de segurança possam ser implementados antes que ocorram colisões ou acidentes (Montella & Mauriello, 2010).

Neste capítulo serão apresentados alguns exemplos de métodos e medidas de avaliação de segurança das travessias pedonais.

4.2. Metodologia de avaliação de segurança da travessia pedonal (Basile et al.)

Em 2010, Basile, Persia e Usami publicaram um artigo que apresenta uma metodologia que permite avaliar o nível de segurança de um peão a atravessar uma travessia pedonal.

O estudo realizado por estes autores apresenta uma metodologia que permite avaliar o nível de segurança de travessias pedonais localizadas em áreas urbanas através de uma inspeção no local realizada utilizando dados reunidos através de formulários. Resumidamente, o objetivo do estudo consiste em definir e atribuir uma taxa de segurança a uma travessia pedonal baseando-se nas suas diversas características, de forma a definir quais as intervenções prioritárias a realizar e sugerir o que necessita de ser melhorado, tendo sido definida a contribuição específica de uma característica da travessia para o nível de segurança de peões. A abordagem adotada consiste em: definir os problemas e selecionar os critérios de avaliação da segurança; ponderar os critérios; definir um indicador composto que expressa o nível de segurança baseando-se nas características da travessia (Basile, Persia, & Usami, 2010).

A abordagem escolhida nesse trabalho focou-se na segurança de uma travessia pedonal sem ter em conta a composição e volumes de tráfego existentes. O risco é, portanto, a não seleção para intervenção de travessias pedonais que mostrem uma elevada frequência de acidentes devido ao maior volume de tráfego. Em contrapartida, a metodologia apresentada permite identificar para intervenção as travessias pedonais que apresentam as piores características (Basile et al., 2010).

Foi definido um quadro teórico no qual se incluíram possíveis fatores/características relacionadas com a segurança numa travessia. Foram então selecionados, por um painel de especialistas, fatores e características baseadas na sua relevância e em resultados obtidos na literatura. Devido a diferenças significativas nas regras de trânsito e nos comportamentos dos utilizadores da via pública entre travessias pedonais semaforizadas e não semaforizadas, estes dois cenários foram separados (Basile et al., 2010).

Para cada cenário, o problema foi decomposto em três níveis hierárquicos. O primeiro nível representa o índice composto de segurança em travessias pedonais. O segundo nível é definido por quatro macro critérios que contribuem para a segurança das travessias pedonais (Projeto Espacial e Temporal; Visibilidade Diurna; Visibilidade Noturna; Acessibilidade). O terceiro nível contém os critérios de avaliação relacionados com cada um dos quatro critérios mencionados no segundo nível, representados nas Figuras 16 e 17 (Basile et al., 2010).

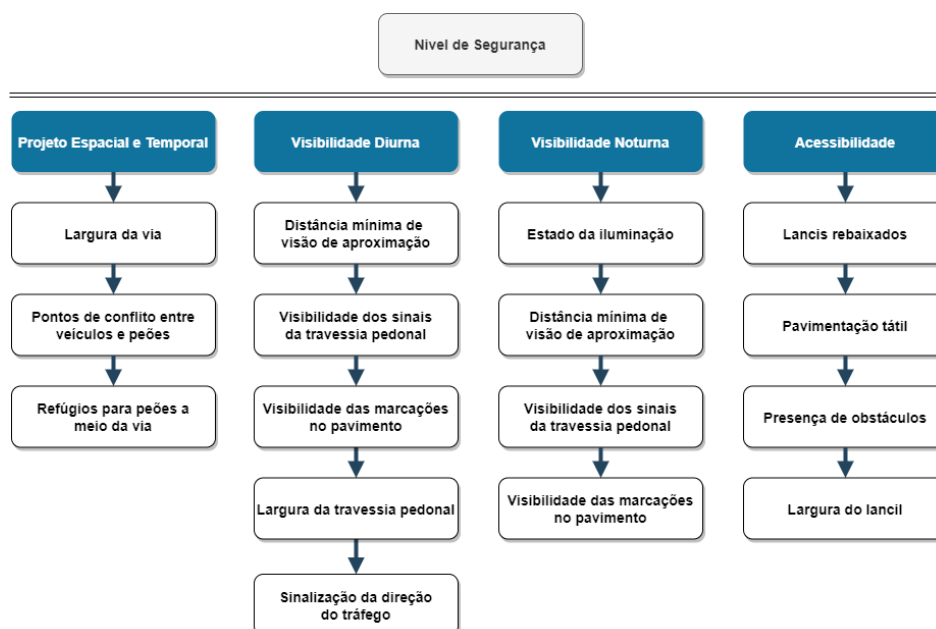


Figura 16. Estrutura hierarquizada para travessias pedonais não semaforizadas (Basile et al., 2010)

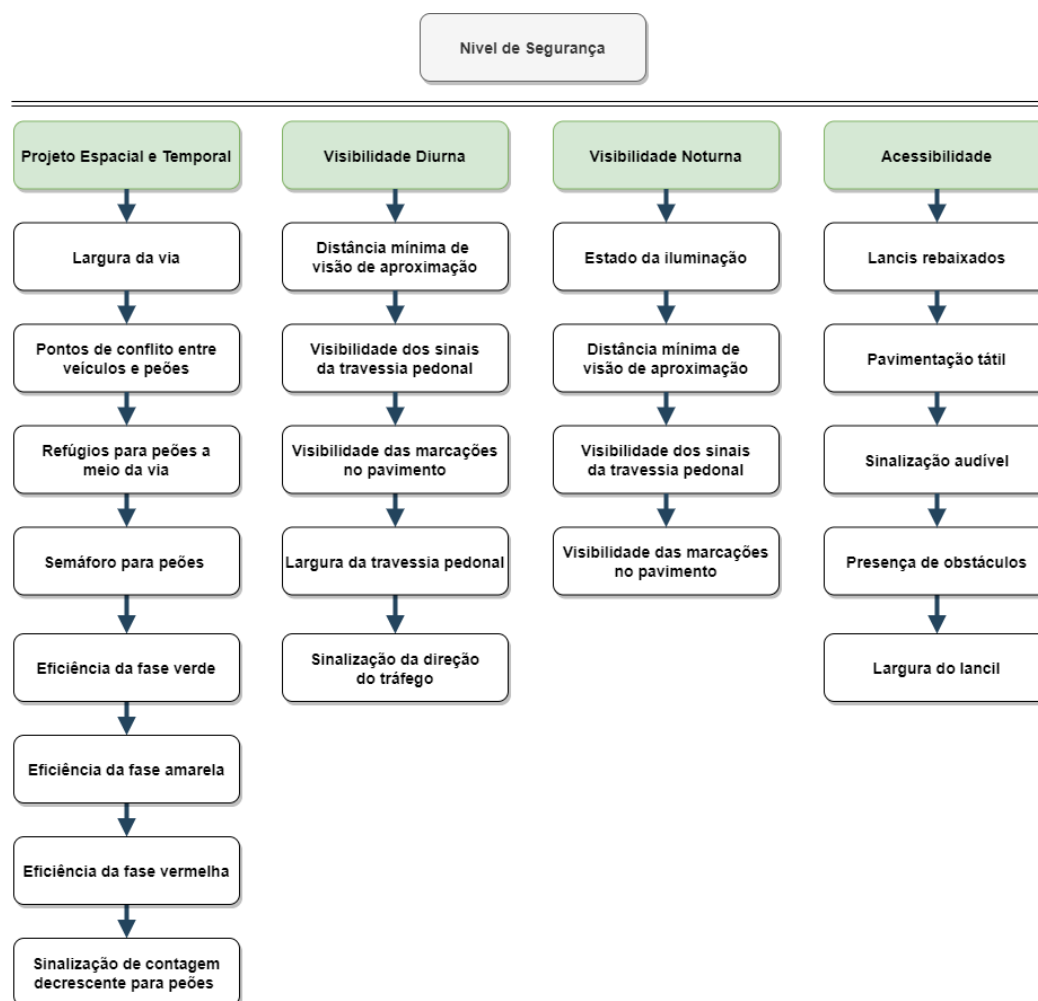


Figura 17. Estrutura hierarquizada para travessias pedonais semaforizadas (Basile et al., 2010)

O critério do projeto espacial e temporal tem em consideração a exposição de peões ao tráfego, conflitos e fatores temporais para avaliar o funcionamento da travessia pedonal. Os critérios incluídos visam minimizar o tempo de espera necessário para encontrar uma oportunidade de atravessamento e o tempo necessário para efetuar o atravessamento em segurança para todos os utilizadores da via, incluindo limitação de exposição ao tráfego, através da redução de pontos de conflito e segmentação da travessia pedonal (Basile et al., 2010).

Os critérios de visibilidade diurna e noturna avaliam a visibilidade de peões na travessia, da travessia pedonal e dos veículos que se aproximam dos peões (Basile et al., 2010).

Os critérios de acessibilidade são responsáveis por garantir o acesso adequado a todos os utilizadores da via, com ou sem deficiência, para abordar a travessia pedonal livre de obstáculos e possíveis perigos (Basile et al., 2010).

Para cada um dos critérios foi identificado um indicador específico, podendo estes referirem-se a medidas quantitativas (por exemplo, largura da estrada) ou medidas qualitativas (por exemplo, condições de visibilidade das marcações do pavimento) (Basile et al., 2010).

4.3.Procedimento de Avaliação de Segurança (Montella & Mauriello)

Em 2010, Montella & Mauriello desenvolveram um estudo onde aplicam um procedimento de avaliação de segurança em várias travessias pedonais. Esta secção focar-se-á apenas na parte teórica desse procedimento.

No procedimento desenvolvido pelos autores, a inspeção de segurança visa identificar e resolver fatores de risco, tentando investigar como o ambiente da via é encarado e utilizado pelos peões e os condutores, tendo em conta todos os utilizadores da via (Montella & Mauriello, 2010).

No que toca aos inspetores, estes devem ter bases de conhecimento diferentes, tendo em conta que pontos de vista díspares são benéficos na identificação e análise de problemas, aumentando também a objetividade do processo. Outros requisitos fundamentais são: a independência e qualificação. Independência em relação ao projeto, manutenção e operação da via sujeita a inspeção, pois os inspetores devem ter em conta apenas os problemas de segurança evitando qualquer tipo de parcialidade. Já a qualificação é vital para que o processo seja eficaz porque exige experiência e prática em engenharia de segurança viária e requer um profundo conhecimento dos princípios de segurança no trânsito, bem como na análise de colisões e conceção de medidas de segurança para peões (Montella & Mauriello, 2010).

A inspeção das travessias pedonais exige uma avaliação geral da via, pois o desempenho de segurança não depende apenas da travessia pedonal, mas também do comportamento dos peões e condutores, fatores estes que estão estritamente relacionados às características gerais da via e áreas adjacentes. Para avaliar a travessia pedonal nas diferentes circunstâncias operacionais, as inspeções devem ser realizadas em diferentes condições de iluminação (diurna e noturna), condições de tráfego (volumes de tráfego menores e maiores) e condições climáticas (céu limpo e chuvoso) (Montella & Mauriello, 2010).

O procedimento de inspeção de segurança na travessia pedonal fornece uma estrutura detalhada para a avaliação da segurança, relacionando as consequências dos problemas identificados em vez da não conformidade padrão ou do número de deficiências. Dois indicadores foram definidos: o Índice de Segurança dos principais aspetos de segurança, que está relacionado com categorias específicas de questões de segurança da travessia e pode ser usado para priorizar as medidas de segurança; e o Índice de Segurança global, que classifica o nível geral de segurança da travessia e pode ser usado para priorizar as melhorias de segurança das travessias na rede viária. Após realizada a inspeção, é escrito um relatório de inspeção específico. O relatório é escrito em formato “problema/recomendação”, onde o problema é

descrito em relação a problemas de segurança e potencial risco de colisão para os utilizadores da via, e as recomendações são efetuadas baseadas em soluções da engenharia para o problema relatado. Após debate entre os inspetores, o relatório final é editado e assinado, descrevendo o procedimento analítico e contendo os resultados do estudo, estando eles detalhados e explicados. O procedimento de avaliação de segurança complementa o relatório de inspeção, fornecendo avaliações quantitativas através do Índice de Segurança dos principais aspetos de segurança e do Índice Global de Segurança (Montella & Mauriello, 2010).

No que toca às listas de verificação, estas são destinadas imediatamente a evitar que os inspetores negligenciem questões de segurança importantes. Estas questões estão classificadas como: problema de alto nível (resultado igual a 2); problema de baixo nível (resultado igual a 1); e sem problema (resultado igual a 0). Os problemas da lista que não são aplicáveis à travessia pedonal em questão são classificados como n.a. (não aplicável). Para melhorar a confiabilidade e a repetibilidade do processo, foram definidos critérios para identificar e classificar questões de segurança (Montella & Mauriello, 2010).

A lista de verificação (Tabelas 5 e 6) contém seis secções: localização, acessibilidade, distância da visibilidade, marcações e sinais, iluminação, tráfego. Foi atribuído um fator de peso para cada problema de segurança detalhado. O fator de peso é a medida do efeito relativo estimado do problema na frequência de acidentes (Montella & Mauriello, 2010).

Tabela 5. Listas de Verificação de Travessias Pedonais (Secção a, b, c) (Montella & Mauriello, 2010)

Questão de Segurança		Peso
a	Localização	2
a1	Alinhamento da rua	2
a2	Consistência entre largura da rua e tipo de travessia pedonal	2
a3	Interação com estacionamento, abordagem i	3
a4	Coordenação com paragens de autocarros, abordagem i	3
a5	Interação com estacionamento, abordagem j	3
a6	Coordenação com paragens de autocarros, abordagem j	3
a7	Coordenação com percursos desejados de peões	1
a8	Coordenação com passeios	1
a9	Distância a outras travessias pedonais	1
a10	Distância da linha de STOP	1
a11	Distância a entroncamentos	1
a12	Distância a sinais de trânsito	1
b	Distância de Visibilidade	5
b1	Visibilidade de peões adultos, ab. i	3
b2	Visibilidade de crianças e pessoas em cadeiras de rodas, ab. i	3
b3	Veículos estacionados legal ou ilegalmente a bloquear a visibilidade, ab. i	3
b4	Obstáculos temporários a bloquear a visibilidade, ab. i	1
b5	Visibilidade de peões adultos, ab. j	3
b6	Visibilidade de crianças e pessoas em cadeiras de rodas, ab. j	3
b7	Veículos estacionados legal ou ilegalmente a bloquear a visibilidade, ab. j	3
b8	Obstáculos temporários a bloquear a visibilidade, ab. j	1
b9	Visibilidade de crianças e pessoas em cadeiras de rodas na travessia	3
b10	Visibilidade de peões adultos na travessia pedonal	3
c	Acessibilidade	1
c1	Presença de rampa de passeio, ab. i	2
c2	Inclinação da rampa de passeio, ab. i	1
c3	Altura do passeio, ab. i	2
c4	Largura do passeio, ab. i	2
c5	Equipamentos para peões cegos, ab. i	1
c6	Veículos estacionados legal ou ilegalmente obstruindo o acesso, ab. i	3
c7	Obstáculos permanentes bloqueando a acessibilidade, ab. i	3
c8	Presença de rampa de passeio, ab. j	2
c9	Inclinação da rampa de passeio, ab. j	1
c10	Altura do passeio, ab. j	2
c11	Largura do passeio, ab. j	2
c12	Equipamentos para peões cegos, ab. j	1
c13	Veículos estacionados legal ou ilegalmente obstruindo o acesso, ab. j	3
c14	Obstáculos permanentes bloqueando a acessibilidade, ab. j	3
c15	Quebras a meio da via	2

*Abordagem i e j refere-se aos dois sentidos da estrada para os condutores e aos dois lados de abordagem da travessia pedonal no caso dos peões.

Tabela 6. Listas de Verificação de Travessias Pedonais (Secção d, e, f) (Montella & Mauriello, 2010)

Questão de Segurança		Peso
d	Marcações e Sinalização	3
d1	Visibilidade diurna das marcações da travessia pedonal	2
d2	Visibilidade noturna das marcações da travessia pedonal	2
d3	Contraste entre as marcações da travessia e o pavimento	2
d4	Comprimento, espaçamento e direção das marcações da travessia	1
d5	Presença e comprimento da linha continua antes da passadeira, direção i	1
d6	Visibilidade do sinal de travessia pedonal, abordagem i	2
d7	Visibilidade do sinal luminoso, abordagem i	3
d8	Presença e comprimento da linha continua antes da passadeira, direção j	1
d9	Visibilidade do sinal de travessia pedonal, abordagem j	2
d10	Visibilidade do sinal luminoso, abordagem j	3
d11	Tempo de sinal verde para peões	3
d12	Coordenação entre a travessia e a localização da sinalização luminosa	1
d13	Visibilidade da linha de STOP	1
e	Iluminação	2
e1	Visibilidade noturna dos peões	3
e2	Visibilidade dos peões ao amanhecer e anoitecer	1
f	Tráfego	3
f1	Velocidade	7
f2	Percentagem elevada de camiões	2
f3	Percentagem elevada de veículos de duas rodas	1

*Abordagem i e j refere-se aos dois sentidos da estrada para os condutores e aos dois lados de abordagem da travessia pedonal no caso dos peões.

No que toca a localização, na lista de verificação o fator de maior peso é dado à interação com estacionamento e coordenação com paragens de autocarros. De facto, a localização de estacionamentos e de paragens de autocarro pode criar um aumento significativo no risco relativamente a peões. Em alguns casos, o estacionamento é permitido muito próximo das travessias, criando conflitos entre peões e veículos. As travessias pedonais localizadas antes de paragens de autocarros podem induzir os peões a atravessar à frente do autocarro parado, com um efeito de segurança prejudicial tendo em conta que a sua visibilidade está obstruída pelo autocarro. A localização da travessia pedonal deve ser avaliada em relação ao alinhamento da estrada, com atenção específica às travessias pedonais localizadas após curvas com distância de visibilidade reduzida. Quanto maior a largura da estrada, maior a exposição da travessia, sendo nestes casos adequada a existência de um refúgio para peões. A descontinuidade de plataformas para peões nas travessias pedonais (por exemplo a não existência de passeio) pode

fazer com que os peões se afastem da travessia, colocando-os em risco de conflito com os veículos (Montella & Mauriello, 2010).

A distância de visibilidade é a categoria de segurança com maior peso, ou seja, a mais importante. Os inspetores devem avaliar a visibilidade da perspectiva de todos os utilizadores da via, principalmente crianças e pessoas em cadeiras de rodas, que podem estar mais próximas do nível do chão. As linhas de visão entre todos os utilizadores da via devem estar desobstruídas. Na lista de verificação, o fator de maior peso é dado aos problemas de visibilidade associados a obstáculos permanentes, desagregados em relação a peões adultos, crianças e pessoas em cadeiras de rodas. O mesmo peso foi atribuído aos problemas de visibilidade associados a veículos estacionados legal ou ilegalmente, que podem representar um risco significativo para os peões. Outros problemas na lista de verificação são os problemas de visibilidade associados a obstáculos temporários (Montella & Mauriello, 2010).

Na parte da acessibilidade, os inspetores devem avaliar as plataformas para peões tendo em conta as necessidades de todos os utilizadores da via. Se as travessias pedonais não forem acessíveis a todos os peões, existe um número de pessoas que atravessam afastadas da travessia, não usando as plataformas para peões disponíveis. Na lista de verificação, o fator de maior peso é dado aos veículos estacionados e obstáculos permanentes que bloqueiam a acessibilidade à travessia pedonal. A obstrução de veículos estacionados deve ser avaliada por inspeções realizadas em diferentes horas do dia (pico e fora de pico) e em diferentes dias da semana (dia útil e fim de semana), com o objetivo de detetar veículos estacionados legal e ilegalmente (Montella & Mauriello, 2010).

As marcações da travessia pedonal fornecem orientação para os peões que atravessam a via, definindo e delineando caminhos e alertando os utilizadores da via de um ponto de passagem para peões na estrada. O efeito das marcações e sinalização é proporcional à sua clareza e visibilidade a qualquer hora do dia e às condições climatéricas. Na lista de verificação, o fator maior de peso é a visibilidade do sinal luminoso pelo tráfego motorizado. Outra questão importante de segurança que requer uma análise cuidadosa por parte da inspeção é a adequação do tempo do sinal verde para peões. Se o tempo do sinal vermelho para peões for excessivamente demorado a probabilidade destes optarem por desobedecer ao sinal aumenta. Além disso, o tempo disponível para um peão atravessar a rua deve ser adequado também para idosos e pessoas com deficiência motora. A inspeção deve verificar a visibilidade das marcações da travessia pedonal durante o dia e a noite, tanto em clima seco como em chuvoso. Também deve ser verificado um contraste adequado entre as marcações e o pavimento (Montella & Mauriello, 2010).

A iluminação, quando adequada, pode melhorar consideravelmente a visibilidade do peão, bem como a de outros utilizadores da via para o próprio peão durante o período noturno. As condições de iluminação nas travessias pedonais apenas podem ser avaliadas durante a noite. Além disso, condições específicas de iluminação, como o nascer e o pôr-do-sol, também devem ser verificadas pois em alguns casos a ativação posterior da iluminação artificial cria um período em que a visibilidade é absolutamente inadequada (Montella & Mauriello, 2010).

No que toca ao tráfego, a velocidade é um dos principais fatores que afetam a segurança da travessia pedonal. A composição do tráfego requer uma avaliação separada. Um fluxo significativo de veículos pesados é incompatível com as travessias pedonais seguras, devido à gravidade dos acidentes envolvendo peões e veículos pesados. Um fluxo significativo de veículos de duas rodas pode ser um risco para os peões, devido ao elevado número de manobras de ultrapassagem realizadas por este tipo de veículo (Montella & Mauriello, 2010).

O Índice de Segurança da travessia pedonal (SI) é formulado através da combinação da exposição dos utilizadores da via aos perigos da via (Expo) com a probabilidade de se envolverem numa colisão (RI), sendo a fórmula a seguinte (Montella & Mauriello, 2010):

$$SI = Expo \times RI \quad (1)$$

O parâmetro da exposição entra com o tráfego médio diário, medido em veículos por dia (TMD) e o número médio diário de peões que utilizam a travessia pedonal, medido em peões por dia (Ped), e é apresentado pela seguinte equação (Montella & Mauriello, 2010):

$$Expo = \sqrt{TMD \times Ped} \quad (2)$$

O Índice de Risco (RI) está relacionado com a probabilidade e severidade de acidente. Este índice pode variar de 0 a 100, sendo que, se o RI for igual a 0, implica que a segurança da travessia é satisfatória e não necessita de melhoramentos. No caso de o RI ser igual a 100 isso implica que a segurança da travessia é crítica e todos os aspetos de segurança necessitam de melhorias substanciais. A fórmula que traduz o RI é a seguinte (Montella & Mauriello, 2010):

$$RI = \frac{\sum_{k=1}^6 RI_k \times W_k}{\sum_{k=1}^6 W_k} \quad (3)$$

onde:

RI_k = Índice de Risco do problema de segurança k;

W_k = Peso da secção na lista de verificação k.

Para o W_k , os valores variam da seguinte maneira (Montella & Mauriello, 2010):

1. Localização: $W_1 = 2$;
2. Distância de Visibilidade: $W_2 = 5$;
3. Acessibilidade: $W_3 = 1$;
4. Marcação e Sinalização: $W_4 = 3$;
5. Iluminação: $W_5 = 2$;
6. Tráfego: $W_6 = 3$.

Voltando ao Índice de Risco, este pode ser expresso por um julgamento sintético, que é denominado de Nível de Segurança, representado na Tabela 7, estando classificada de A a F. Semelhante ao conceito de Nível de Serviço aceite à escala global, o nível mais seguro é traduzido pela letra A, enquanto o nível em que a segurança da travessia está mais afetada é representado pela letra F (Montella & Mauriello, 2010).

Tabela 7. Nível de Segurança (Montella & Mauriello, 2010)

Índice de Risco	Nível de Segurança
≤ 12	A
≥ 12 e ≤ 24	B
> 24 e ≤ 36	C
> 36 e ≤ 48	D
> 48 e ≤ 60	E
> 60	F

Para cada secção da lista de verificações, um Índice de Risco específico (RI_k) é calculado através da fórmula (4). Nesta fórmula estão representados: o peso da questão de segurança i da secção k, representados na Tabela 5 e 6 (W_{ik}); a pontuação média da questão de segurança i da secção k, avaliada através do valor médio das pontuações dos membros da equipa de inspeção (AS_{ik}); e o número de questões de segurança da secção k, exceto as que não são aplicáveis à travessia pedonal em avaliação (m) (Montella & Mauriello, 2010).

$$RI_k = \frac{\sum_{i=1}^m AS_{ik} \times W_{ik}}{2 \times m \times \sum_{i=1}^m W_{ik}} \times 100 \quad (4)$$

O Índice de Segurança para a secção k (SI_k) é obtido através do produto do Índice de Risco k (RI_k) e da exposição dos utilizadores da via aos perigos da via (Expo) (Montella & Mauriello, 2010).

4.4. Síntese Geral

Neste capítulo foram apresentadas duas metodologias e medidas de avaliação da segurança em travessias pedonais. Estas procuram identificar potenciais perigos tendo em conta as características da estrada e o ambiente em que a travessia se insere de forma a determinar se será necessária a implementação de medidas de melhoria de segurança, evitando assim recorrer ao relatório de acidentes, que por sua vez faz com que não seja necessário esperar que os acidentes aconteçam para se tomarem medidas em prol da segurança.

A primeira metodologia apresentada tem como objetivo definir e atribuir uma taxa de segurança a uma travessia pedonal tendo por base as suas características. Os critérios abordados são a vertente espacial e temporal, que incluem a exposição dos peões ao tráfego, tempos de espera e tempos de atravessamento, a visibilidade, tanto diurna como noturna, que inclui a visibilidade dos peões na travessia, a visibilidade da própria travessia e dos veículos que se aproximam desta, e a acessibilidade, que tem como objetivo garantir que todos os peões possam atravessar de forma segura e inclui parâmetros relacionados com a geometria do passeio, a presença de obstáculos e a presença de pavimentação tátil.

A segunda metodologia apresentada pretende identificar e resolver fatores de risco. Nesta metodologia é utilizada uma lista de verificação que contem seis secções e, em cada secção, vários parâmetros relacionados com cada uma das secções. As secções são a localização, distância de visibilidade, acessibilidade, marcações e sinalização, iluminação e tráfego.

Em ambas as metodologias foram atribuídos fatores de peso para cada critério/secção e respetivos parâmetros. No primeiro caso foram atribuídos indicadores quantitativos e qualitativos, sendo que no segundo o fator numérico de cada secção é a medida do efeito relativo estimado do problema na frequência de acidentes.

As duas metodologias tiveram influência na estrutura da metodologia desenvolvida nesta dissertação pois abordam critérios fundamentais para a segurança nas travessias pedonais de uma forma acessível e de fácil aplicação.

Uma outra metodologia existente, que é considerada na metodologia desenvolvida nesta dissertação e explicada no capítulo seguinte, é uma metodologia desenvolvida pelo *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP).

5. METODOLOGIA

5.1. Introdução

O principal objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma metodologia que permita avaliar o nível de segurança de qualquer travessia pedonal não semaforizada. Posto isto, e tendo por base a revisão da literatura realizada e apresentada nos capítulos anteriores, decidiu-se que os fatores de segurança mais pertinentes a ter em consideração para aplicar na metodologia são:

- Localização e Geometria da Via;
- Visibilidade;
- Acessibilidade;
- Sinalização;
- Iluminação;
- Risco de exposição;
- Situação Climatérica;
- Dimensão Temporal.

A partir destes fatores decidiu-se elaborar uma metodologia dividida em duas fases, a Fase Estática e a Fase Dinâmica. Na Fase Estática, desenvolvida em forma de lista de verificação (“Checklist”), são tidos em conta a Localização e Geometria da Via, Visibilidade, Acessibilidade, Sinalização e Iluminação, enquanto na Fase Dinâmica são avaliados: a Exposição, a Situação Climatérica em função do tempo.

Dentro dos fatores acima mencionados estão presentes vários parâmetros que irão ser abordados na secção seguinte. Estes parâmetros serão quantificados de 0 a 3 tendo em conta o seu peso na segurança da travessia pedonal e foram definidos tendo por base a revisão da literatura realizada nesta dissertação, sendo eles:

- 3 – Perigo Baixo;
- 2 – Perigo Médio;
- 0;1 – Perigo Elevado.

Nas secções seguintes irão ser apresentados e descritos os fatores, bem como os seus parâmetros.

5.2. Tabelas de Fatores e Parâmetros

Nesta secção estão representados os fatores e os parâmetros utilizados na parte estática da metodologia, bem como os pesos que foram atribuídos a cada um deles. Nas Tabelas 9, 10 e 11, a cinzento-escuro, encontram-se os pesos se os parâmetros não verificarem.

Tabela 8. Parâmetros e respetivos pesos da Localização e Geometria da Via

Localização e Geometria da Via	Zona	Centro Urbano	1
		Zona Rural	2
		Zona Escolar, Hospitalar, Lar de Idosos, etc.	1
	Tipo de Estrada	Nacional/Principal	2
		Complementar/Secundária	3
	Localização na Estrada	Localizada numa Reta	3
		Localizada numa Curva	2
		Localizada num Cruzamento	1
		Localizada num Entroncamento	2
		Localizada imediatamente junto a uma Rotunda	1
	Características da Estrada	Estrada de sentido único	3
		Estrada de 2 sentidos	2
		Estrada com 1 ou 2 vias	3
		Estrada com mais de 2 vias	1
		Existência de separador central ou refúgio para peões	2

Tabela 9. Parâmetros e respetivos pesos da Visibilidade

Visibilidade	Peão para Veículo	Visibilidade Clara do Veículo em Aproximação	3	1
		Presença de Obstáculos (Temporários ou Permanentes)	1	2
	Veículo para Peão	Visibilidade Clara do Peão Adulto	3	1
		Visibilidade Clara do Peão em Cadeira de Rodas ou Criança	3	0
		Presença de Obstáculos (Temporários ou Permanentes)	1	2

Tabela 10. Parâmetros e respetivos pesos da Acessibilidade

Acessibilidade	Presença de Rampa ou Rebaixamento do Passeio	3	1
	Presença de Equipamentos para Invisuais	3	1
	Altura e Largura do Passeio Regulares	2	1
	Presença de Obstáculos	1	2

Tabela 11. Parâmetros e respetivos pesos da Sinalização

Sinalização	Horizontal	Presença de Marcação no Pavimento	2	0
		Visibilidade Clara das Marcações	3	1
		Geometria das Marcações	2	1
	Vertical	Presença de Sinalização Vertical	3	0
		Visibilidade Clara da Sinalização Vertical	3	1

Tabela 12. Parâmetros e respetivos pesos da Iluminação

Iluminação	Iluminação Deficiente	1
	Iluminação Suficiente	2
	Iluminação Eficiente	3

5.3. Descrição dos Fatores e Parâmetros

5.3.1. Localização e Geometria da Via

A localização e geometria da via onde a travessia pedonal está inserida é um aspeto importante na avaliação da segurança da travessia, sendo que existem vários aspetos a ter em conta dentro desta categoria que podem agravar ou não o risco da travessia.

Uma solução proposta para este fator importante será dividi-lo em quatro grupos, sendo eles a Zona, o Tipo de Estrada e a Localização na Estrada onde a travessia pedonal se encontra.

Indo por partes, e começando no grupo Zona, os parâmetros presentes são três (Centro Urbano; Zona Rural e Zona Escolar/Hospitalar/Lar de Idosos), sendo que, neste caso, será impossível verificar todos os parâmetros visto que a travessia só poderá estar em zona urbana ou rural, nunca nas duas em simultâneo. De referir que um destes dois parâmetros terá sempre que verificar. No que toca ao peso que cada um destes parâmetros representa para o risco da travessia, a Zona Rural tem um peso mais baixo que o Centro Urbano, pois existe uma concentração mais elevada de população nas zonas urbanas, por norma as estradas nos centros urbanos estão em melhor estado que as das zonas rurais, fazendo com que sejam mais suscetíveis a excessos de velocidade por parte dos condutores, entre outras razões.

O parâmetro especial (Zona Escolar/Hospitalar/Lar de Idosos) é um parâmetro adicional e complementar quando se verificar que a travessia em análise se encontra nas imediações deste tipo de instalações que necessitem de cuidados redobrados. Como é óbvio, este será o parâmetro da Localização e Geometria da Via com perigo mais elevado para travessia, por se tratarem de recintos muito delicados por serem frequentados maioritariamente pelos utilizadores da via pública mais propensos a acidentes (crianças, idosos, pessoas com necessidades especiais).

O segundo grupo desta categoria é o Tipo de Estrada, na qual estão apenas dois parâmetros, Estrada Nacional/Principal e Estrada Complementar/Secundária. À semelhança da Zona Rural e Centro Urbano, neste grupo apenas se poderá verificar um dos parâmetros, sendo impossível estes serem verificados simultaneamente. No que toca ao peso de cada um dos parâmetros no risco da travessia pedonal, a Estrada Nacional/Principal será menos segura que a Estrada Complementar/Secundária, sendo as razões as mesmas que para a distinção entre Centro Urbano e Zona Rural.

O próximo grupo presente na Localização e Geometria da Via é a Localização na Estrada, no qual os parâmetros de verificação possíveis são a travessia pedonal localizar-se numa reta, curva, entroncamento, cruzamento ou imediatamente junto a uma rotunda. Em termos de risco, os parâmetros acima referidos estão organizados em ordem crescente, sendo a localização em reta o parâmetro de menor perigo e a localização imediatamente junto a uma rotunda o parâmetro de maior perigo. Apesar de nas retas os veículos poderem atingir velocidades mais elevadas que nas curvas, cruzamentos, entroncamentos ou rotundas, em termos de visibilidade e tempo de reação é muito mais fácil de tomar uma posição preventiva da parte do peão que está prestes a iniciar o atravessamento, sendo que em curvas, cruzamentos, entroncamentos ou rotundas as manobras são muito mais bruscas (mudanças de direção repentinas) e realizadas a distâncias que muitas das vezes não são as mais indicadas ao que à segurança diz respeito.

Por fim, Características da Estrada é o último grupo cujos parâmetros de verificação presentes são se a estrada possui um ou dois sentidos, se a estrada tem duas ou menos vias, se a estrada tem mais de duas vias e, se este último se verificar, se existe ou não separador central ou refúgio de peões.

5.3.2. Visibilidade

A Visibilidade é um dos fatores mais importantes aquando da avaliação da segurança de uma travessia pedonal. É um fator que, para além de ser independente, também se encontra presente em muitos dos outros fatores referidos nesta metodologia, quer direta ou indiretamente, o que demonstra o seu impacto ao nível da segurança.

Nesta metodologia, a Visibilidade está dividida em dois grupos (Peão para Veículo e Veículo para Peão), sendo que em ambos os grupos os parâmetros presentes são a Visibilidade Clara do Veículo/Peão e a Presença de Obstáculos.

No que diz respeito a obstáculos que possam dificultar ou impossibilitar que o peão visualize o veículo em aproximação ou vice-versa, estes podem ser permanentes ou

temporários. Exemplos de obstáculos permanentes são postes de eletricidade ou iluminação, arborização ou até mesmo paragens de autocarros. Já os obstáculos temporários podem passar por carros mal estacionados, autocarros, camiões do lixo, etc.

A questão da visualização dos peões por parte dos veículos engloba vários fatores, nomeadamente a Distância de Visibilidade, a Distância de Visibilidade de Paragem e o Tempo de Reação e Perceção.

Para se atingir o objetivo da máxima segurança rodoviária, é indispensável garantir uma distância de visibilidade suficiente (Marques, 2004).

Recorde-se, em primeiro lugar, que a distância de visibilidade é a extensão de estrada ou rua que é visível à frente do condutor. A distância de visibilidade mínima deve ser suficiente, para um condutor parar a sua viatura antes de atingir um peão no seu caminho. A esta distância chama-se distância de visibilidade de paragem. Deste modo, a distância de paragem mínima pode ser subdividida em duas distâncias: aquela que é percorrida pelo veículo desde o momento em que o obstáculo se torna visível até que o condutor aplica o travão, e a distância percorrida pelo mesmo veículo, desde que o travão é acionado até à imobilização da viatura (Marques, 2004).

Têm sido efetuados variados testes para determinar o tempo de reação do condutor, ou seja, o tempo necessário para fazer atuar os travões. Nalguns casos, esses testes apontam valores de cerca de 0,5 segundos, noutros, valores de cerca de 1 segundo e até mais. Como já se referiu, quando se trata de questões de segurança, não devemos ter em conta apenas os valores médios, mas sim os valores que são aplicáveis à maioria dos operadores; por isso, é esse o valor que deve ser escolhido, para a determinação das distâncias de paragem. Por outro lado, deve-se ter também em atenção o tempo de perceção, isto é, o tempo necessário para compreender que os travões têm de ser usados. Esta parcela corresponde ao lapso de tempo que se desenvolve, desde que o obstáculo é visível para o condutor, até ao momento em que ele se apercebe de que é necessário parar, para evitar a colisão. Quando se trata de um obstáculo em movimento e, neste caso, interessa-nos particularmente o peão, o condutor do veículo terá de ser capaz de fazer opções complexas, tais como, num lapso de tempo curto, assumir ou prever a reação do peão e agir de acordo com isso (Marques, 2004).

O tempo de perceção dependerá de vários fatores, nomeadamente da distância ao objeto, da rapidez natural com que cada condutor reage, das suas possibilidades óticas, da visibilidade atmosférica e da velocidade com que o objeto se desloca, se for o caso. Este último aspeto faz crescer substancialmente o grau de dificuldade, uma vez que se torna mais difícil ajuizar a velocidade do que a distância. A maior parte das experiências realizadas faz combinar os dois

tempos: tempo de percepção e tempo de reação. Se por um lado, quando se praticam velocidades mais elevadas, os tempos de percepção são menores uma vez que o condutor está mais atento, por outro, distâncias maiores associadas a velocidade mais elevadas tornam mais difícil a percepção, devido a um acréscimo das dificuldades de visão (Marques, 2004).

Nas tabelas seguintes estão representadas as distâncias de paragem para diferentes velocidades, tendo em conta também as situações diferenciadas de pavimento molhado (Tabela 13) e seco (Tabela 14) (Marques, 2004).

Tabela 13. Distâncias de Paragem em Pavimentos Molhados (Marques, 2004)

Velocidade de projeto (Km/h)	Velocidade assumida (Km/h)	Reação e percepção	Distância (m)	Coeficiente de atrito	Dt (m)	Dp (m)
		Tempo (s)				
50	45	2.5	30	0.36	22	60
65	57	2.5	40	0.33	40	80
80	70	2.5	48	0.31	62	110
100	80	2.5	57	0.30	90	145
105	90	2.5	60	0.30	100	160
115	95	2.5	64	0.29	116	180
120	100	2.5	67	0.28	133	200

*Para o somatório dos tempos de percepção e reação, quando se consideram situações de plena estrada, o tempo considerado é de 2.5 segundos.

Tabela 14. Distâncias de Paragem em Pavimentos Secos (Marques, 2004)

Velocidade de projeto (Km/h)	Velocidade assumida (Km/h)	Reação e percepção	Distância (m)	Coeficiente de atrito	Dt (m)	Dp (m)
		Tempo (s)				
50	45	2,5	35	0,62	15	50
65	65	2,5	45	0,60	27	70
80	80	2,5	46	0,58	44	100
100	100	2,5	67	0,56	65	130
105	105	2,5	73	0,56	77	150
115	115	2,5	80	0,55	91	170
120	120	2,5	83	0,54	106	190

*Para o somatório dos tempos de percepção e reação, quando se consideram situações de plena estrada, o tempo considerado é de 2.5 segundos.

5.3.3. Acessibilidade

A Acessibilidade é o fator que tem em conta o acesso do peão à travessia pedonal e as condições que este tem de maneira a fazer o atravessamento na maior segurança possível. Os parâmetros de avaliação presentes na Acessibilidade são a Presença de Rampa ou Rebaixamento do Passeio

na zona da travessia, a Presença de Equipamentos para Invisuais, a Altura e Largura do Passeio Regulares nessa zona, bem como a Presença de Obstáculos.

O uso e o abuso do automóvel particular em relação ao espaço do peão é ainda hoje uma realidade. Esta atitude conduz muitas vezes a que a circulação, em particular dos mais vulneráveis, se faça em condições deploráveis (Marques, 2004). A Figura 18 reproduz um obstáculo temporário, mais especificamente um veículo estacionado num passeio, obstruindo totalmente a passagem do passeio para a travessia pedonal.



Figura 18. Estacionamento obstruindo a acessibilidade para a travessia pedonal (Marques, 2004)

Existem formas de evitar que o estacionamento se faça de forma desordenada. Os instrumentos preventivos são os mais adequados e corporizam um impedimento físico ao estacionamento. Daí que se considerem "barreiras", podendo ser concebidas de formas variadas. É necessário, todavia, que estes instrumentos não contribuam, eles próprios, para a insegurança de outros utilizadores da via pública (Marques, 2004). Estes são os casos em que estas medidas se tornam obstáculos permanentes. Na Figura 19 pode-se visualizar um destes casos, em que foram utilizados blocos piramidais de modo a evitar estacionamentos ilegais e indesejados, tendo esta medida contribuindo para a insegurança dos peões que pretendem atravessar esta passadeira, pois pequenas distrações podem resultar em tropeções e consequentes quedas para a faixa de rodagem.



Figura 19. Estacionamento obstruindo a acessibilidade para a travessia pedonal (Marques, 2004)

Segundo a legislação portuguesa, existem certos aspetos que uma travessia pedonal deve verificar no que à acessibilidade diz respeito. Estas normas encontram-se no Decreto-Lei nº163/2006, na secção 1.6, traduzem o seguinte (Decreto-Lei nº163/2006, 2006):

- No que diz respeito à altura do lancil em toda a largura das passagens de peões, esta não deve ser superior a 0,02 m.
- O pavimento do passeio na zona imediatamente adjacente à passagem de peões deve ser rampado, com uma inclinação não superior a 8% na direção da passagem de peões e não superior a 10% na direção do lancil do passeio ou caminho de peões, quando este tiver uma orientação diversa da passagem de peões, de forma a estabelecer uma concordância entre o nível do pavimento do passeio e o nível do pavimento da faixa de rodagem.
- A zona de interceção das passagens de peões com os separadores centrais das rodovias deve ter, em toda a largura das passagens de peões, uma dimensão não inferior a 1,2 m e uma inclinação do piso e dos seus revestimentos não superior a 2%, medidas na direção do atravessamento dos peões
- Caso as passagens de peões estejam dotadas de dispositivos semafóricos de controlo da circulação, devem satisfazer as seguintes condições:
 - Nos semáforos que sinalizam a travessia de peões de acionamento manual, o dispositivo de acionamento deve estar localizado a uma altura do piso compreendida entre 0,8 m e 1,2 m;

- O sinal verde de travessia de peões deve estar aberto o tempo suficiente para permitir a travessia, a uma velocidade de 0,4 m/s, de toda a largura da via ou até ao separador central, quando ele exista;
- Os semáforos que sinalizam a travessia de peões instalados em vias com grande volume de tráfego de veículos ou intensidade de uso por pessoas com deficiência visual devem ser equipados com mecanismos complementares que emitam um sinal sonoro quando o sinal estiver verde para os peões.
 - Caso sejam realizadas obras de construção, reconstrução ou alteração, as passagens de peões devem:
 - Ter os limites assinalados no piso por alteração da textura ou pintura com cor contrastante;
 - Ter o início e o fim assinalados no piso dos passeios por sinalização tátil;
 - Ter os sumidouros implantados a montante das passagens de peões, de modo a evitar o fluxo de águas pluviais nesta zona.

5.3.4. Sinalização

A Sinalização é outro fator importantíssimo e fundamental na segurança das travessias pedonais. Nesta metodologia, a sinalização é dividida em dois grupos, sendo estes a Sinalização Horizontal (Marcações) e a Sinalização Vertical (Sinais de Trânsito).

No caso da Sinalização Horizontal, os parâmetros a ter em conta são a Presença de Marcação no Pavimento (ou seja, se a travessia em avaliação for uma travessia não sinalizada), a Visibilidade Clara das Marcações (no caso das marcações estarem gastas por falta de manutenção ou o contraste entre o pavimento e as marcações for insuficiente) e a Geometria das Marcações Regulares.

Como já foi referido nesta dissertação, em Portugal o tipo mais comum de travessia pedonal é o tipo “zebra”, sendo que a sinalização horizontal utilizada neste tipo de travessia é a Marca M11 (Passagem de Peões não semaforizada) e a Marca M9 (Linha de Cedência de Passagem do Regulamento de Sinalização de Trânsito [RST]). No que às características da travessia dizem respeito (Seco et al., 2008):

- Largura normal da passagem de 4,0 m, podendo esse valor baixar para valores da ordem dos 2,5 a 3,0 m nos casos em que as velocidades dos veículos sejam baixas, os volumes de peões sejam também baixos ou existam restrições físicas inultrapassáveis;

- A linha de cedência de passagem deve ficar colocada a uma distância da passadeira entre 1,5 e 2,0 m;
- As linhas tenham 0,5m e sejam espaçadas 0,5m entre elas.

Na parte da Sinalização Vertical, os parâmetros a ter em conta são a Presença de Sinalização Vertical (a sua ausência pode ser justificada por questões de vandalismo como o roubo ou destruição do sinal, ou por questões naturais, como a queda do sinal devido a ventos fortes) e a Visibilidade Clara da Sinalização Vertical (novamente por questões de vandalismo, pela presença de algum obstáculo temporário ou por má colocação da sinalização).

Nas travessias pedonais tipo “zebra”, a sinalização vertical utilizada passa pelo sinal H7 (Passagem para peões do RST) colocado junto à travessia pedonal. Nos casos em que a visibilidade da passagem para peões não seja a ideal ou se existir alguma sinistralidade, deve ser colocado um sinal de perigo (sinal A16a-Passagem de peões do RST) afastado da passadeira a uma distância entre 150 e 300 m (Seco et al., 2008). Na Figura 20 é possível observar os sinais verticais aqui referidos.



Figura 20. a) Sinal A16a e b) Sinal H7 (Declaração de Retificação nº60-A/2019, 2019)

Ainda relativamente à Sinalização, caso se verifique que a segurança da travessia está comprometida apenas com a sinalização normal, existe a possibilidade de adicionar dispositivos complementares com vista a reforçar a segurança. Por exemplo, nas situações em que o comprimento de atravessamento for superior a 10m, considerar a implementação de um refúgio central (Seco et al., 2008). Outros tipos de dispositivos complementares passam por soluções semaforizadas, sinais luminosos intermitentes, “olhos de gato” (sinalização fotoluminescente e refletiva), etc.

5.3.5. Iluminação

A Iluminação é o fator que tem em conta se a travessia pedonal ou os peões que a utilizam estão iluminados ao ponto de não colocar a segurança destes mesmos em risco. Este fator divide-se em quatro parâmetros que qualificam a iluminação como Inexistente, Deficiente, Suficiente e Eficiente. Estas classificações têm em conta a iluminação da travessia e iluminação do peão, tendo por base o que já foi referido no subcapítulo 2.2.4. desta dissertação, pois uma deficiente colocação dos postes de iluminação pode resultar numa boa iluminação das marcações horizontais da travessia, mas numa iluminação deficiente dos peões ou vice-versa.

São vários os fatores que afetam o contraste da iluminação entre peões e tudo o que está por trás do peão do ponto de vista do condutor, sendo eles iluminação rodoviária fixa, iluminação dos faróis, o vestuário dos peões e características do fundo visual. Destes, apenas a iluminação da estrada pode ser controlada pelos engenheiros responsáveis pelo projeto de iluminação (Gibbons et al., 2008).

A iluminação superior instalada nas travessias pedonais geralmente oferece maior distância de visibilidade do que os faróis sozinhos para iluminar um plano. A eficácia da iluminação superior em aumentar distância de visibilidade - aumentando o contraste da luminância - é uma função de várias variáveis: a localização e orientação da luminária, intensidade da luz emitida e cor da luz fonte de luz (Gibbons et al., 2008).

Segundo Gibbons et al., os conceitos de visibilidade relativos à iluminação são a iluminação vertical, a luminância, a reflexão difusa, o contraste, o nível de visibilidade e o “visual background”, que é nada mais nada menos que o plano de fundo da travessia pedonal. Na Figura 21 encontra-se um esboço dos componentes da iluminação vertical.

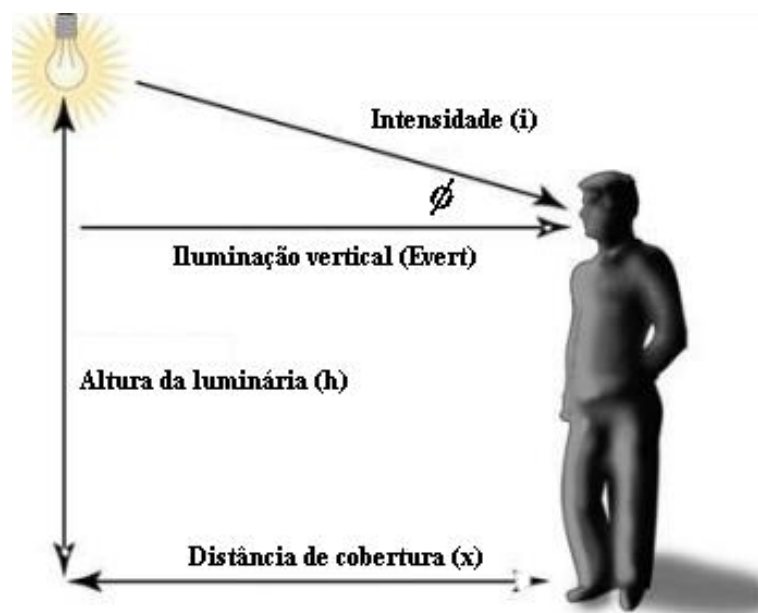


Figura 21. Componentes da iluminação vertical (Gibbons et al., 2008)

5.3.6. Exposição

A Exposição é, claramente, o fator desta metodologia com maior impacto e o que requer maior atenção no que toca à segurança da travessia pedonal. Os grandes parâmetros deste fator são os volumes e as velocidades, tanto de veículos como de peões.

No caso da Velocidade, as travessias pedonais sem recurso a semaforização normalmente encontram-se em estradas cujo limite de velocidade é, no máximo, de 50 km/h. Como nas autoestradas é proibida a circulação de peões, não existem travessias pedonais. Sendo assim, as travessias pedonais que se inserem em estradas onde as velocidades máximas permitidas são de 70 km/h (certos trechos de estradas nacionais) são sempre acompanhadas por semaforização, não sendo essas as travessias alvo para esta metodologia. Posto isto, a velocidade é um fator importantíssimo pois existem inúmeros casos em que estradas cujo limite de velocidade imposto é de 50 km/h permitem que os condutores circulem a velocidades muito superiores à velocidade regulada, causando um risco enorme para os peões que tentem atravessar numa travessia pedonal localizada numa dessas estradas.

A Velocidade e o Volume estão diretamente relacionados um com o outro, sendo que, quanto maior for o volume de tráfego, menor será a velocidade praticada pelos veículos.

Relativamente ao volume de tráfego no contexto de segurança da travessia pedonal, existem vários ábacos e normas a nível mundial que determinam quando é necessário tomar medidas adicionais para preservar a segurança das travessias pedonais, tendo este tema sido abordado na secção 3.1. desta dissertação.

5.3.7. Situação Climatérica

A Situação Climatérica é o fator que tem em consideração as várias condições atmosféricas que possam vir a ter influência no normal funcionamento do trânsito, mais especificamente na possibilidade da existência de conflitos entre veículos e peões. Os parâmetros considerados são Céu Limpo, Chuva e Neve/Gelo/Geada.

No que à importância de cada parâmetro na segurança da travessia pedonal diz respeito, os parâmetros estão organizados do que menos põe em risco a segurança (Céu Limpo) para o que possui o risco mais elevado (Neve/Gelo/Geada). O que faz com que Neve/Gelo/Geada seja extremamente perigosa comparativamente com as outras são o facto de alterarem drasticamente as condições de circulação tanto de veículos como de peões, tornando a aderência pneu/pavimento muito mais instável, logo, aumentando exponencialmente a probabilidade de despistes e conflitos, quer entre veículos como entre veículos e peões.

5.3.8. Dimensão Temporal

Teoricamente, o risco varia em função do tempo tendo em conta se se trata de dia laboral ou fim-de-semana/feriado, por exemplo. Tanto num como noutro, a hora de ponta será a altura do dia mais propensa ao risco, pois, como o próprio nome indica, é o período do dia onde o volume de peões e veículos é maior, havendo assim maior probabilidade de ocorrência de acidente pois há mais conflitos. No caso de ser um dia de trabalho, a hora de ponta prevê-se entre as horas em que a generalidade da população se desloca para o local de trabalho ou estabelecimentos de ensino (normalmente entre as 7h e as 9h) ou se desloca do local de trabalho ou estabelecimentos de ensino para casa (por norma entre as 17h e as 19h). No caso de se se tratar de um fim-de-semana ou feriado, a hora de ponta já é mais complicada de prever. Nestes dias as noites/madrugadas poderão representar também riscos acrescidos, visto que normalmente as noites de fim-de-semana tendem a ser períodos onde existem vários ajuntamentos e eventos sociais e de lazer, juntando grandes aglomerados de pessoas que se mobilizam quer de automóvel quer a pé, muitas vezes com substâncias como o álcool envolvidas, aliando-se ao facto de durante a noite a visibilidade e iluminação serem mais limitadas que durante o dia.

5.4.Fase Estática da Metodologia

A Fase Estática da metodologia foi desenvolvida de modo a ser possível fazer um levantamento da segurança de qualquer travessia pedonal não semaforizada, tendo apenas em conta os fatores estáticos e físicos da mesma, ou seja, fatores que não variem consoante a meteorologia, volumes de tráfego ou velocidades.

Nesta fase, a disposição da metodologia é representada através da tabela de “checklist” onde, para cada parâmetro, é marcado com um V (Verifica) ou NV (Não Verifica) tendo em conta as características da travessia pedonal em estudo. Após o preenchimento completo da tabela, é efetuada uma média dos valores dos parâmetros, resultando em cinco valores, que dizem respeito aos cinco fatores, e podem estar compreendidos entre 1 e 3 (os níveis de perigosidade), sendo estes resultados apresentados arredondados às unidades e traduzidos num gráfico tipo radar, representado na Figura 22. Este tipo de gráfico foi escolhido tendo em conta a fácil compreensão e leitura do mesmo. A partir dos resultados fornecidos pelo radar, são apresentadas recomendações em forma de tabela, representada na Tabela 15, indicando quais serão as melhores soluções para o reforço da segurança na travessia. De notar que as recomendações apresentadas na metodologia podem, em alguns casos, não ser viáveis ou aplicáveis à travessia em estudo, tendo em conta as inúmeras singularidades de cada travessia pedonal e do ambiente que as envolve, cabendo ao responsável pela aplicação da metodologia averiguar essa mesma viabilidade através do seu conhecimento do local onde a metodologia está a ser aplicada.

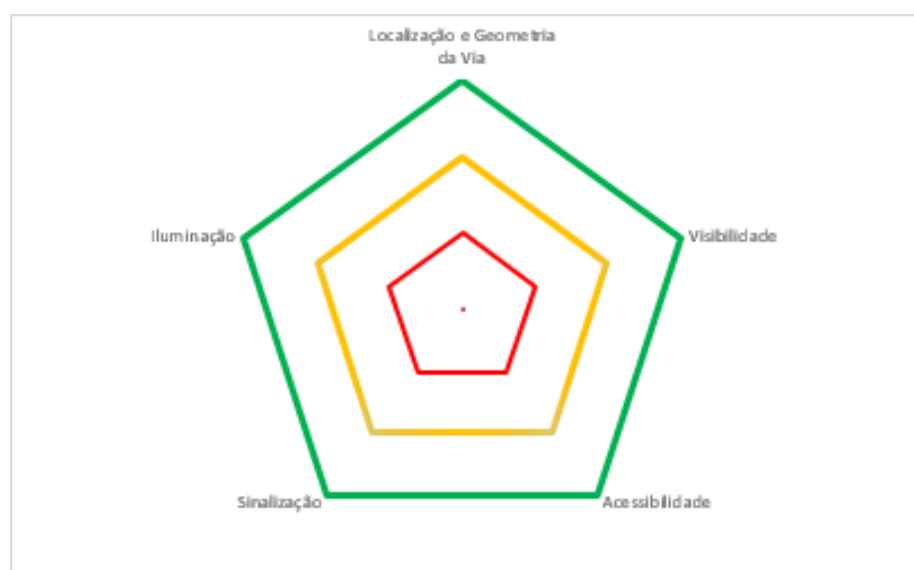


Figura 22. Gráfico dos resultados da Fase Estática

Tabela 15. Tabela de Recomendações para Fase Estática

	Recomendações
Localização e Geometria da Via	Mudança da localização da travessia pedonal
	Colocação de refúgio central de peões
Visibilidade	Mudança da localização da travessia pedonal
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários
Acessibilidade	Criação de rampa ou rebaixamento da guia do passeio
	Implementação de piso tátil
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários
	Aumento da largura do passeio para as medidas regulamentares mínimas
Sinalização	Manutenção das marcações no pavimento
	Manutenção da sinalização vertical
	Colocação devida da sinalização vertical, consoante as normas
Iluminação	Colocação de iluminação na travessia pedonal
	Alteração da localização da iluminação para um local onde esta seja eficiente

No que toca aos métodos para determinar os graus de segurança dos cinco fatores, foram utilizadas duas formas de calcular esses valores.

Nos fatores “Localização e Geometria da Via” e “Iluminação”, os valores que entram para a média são apenas os dos parâmetros que verificam, sendo atribuído um valor nulo (0) para os que não verificam, ou seja, os parâmetros que não verificam não são considerados para fazer média. Isto deve-se ao facto de estes fatores terem parâmetros que, ao verificarem, automaticamente impedem outros de verificarem. No caso da “Iluminação”, existem três parâmetros (Inexistente, Deficiente e Eficiente), sendo que na travessia pedonal em estudo, apenas uma das três poderá verificar, ficando o fator “Iluminação” com o nível de segurança ao qual corresponder o parâmetro que verifica. O caso da “Localização e Geometria da Via” é ligeiramente mais complexo, tendo em conta que este fator se desdobra em quatro subfatores (Zona, Tipo de Estrada, Localização na Estrada e Características da Estrada). Estes subfatores

(com exceção das “Características da Estrada, pois este é o único subfactor em que há mais que um parâmetro que pode verificar) funcionam exatamente da mesma maneira que o fator “Iluminação”, sendo que a média destes subfatores traduzem o grau de segurança do fator “Localização da Via”.

Nos fatores “Visibilidade”, “Acessibilidade” e “Sinalização” todos os parâmetros entram para média, quer verifiquem quer não verifiquem. Para isto acontecer foram atribuídos valores (igualmente de 1 a 3) para os parâmetros caso estes não verifiquem. Este método foi adotado visto que nestes fatores não existem quaisquer impedimentos em termos de verificação de parâmetros, ou seja, tanto podem verificar todos como não verificar nenhum, existindo valores de segurança diferentes para cada parâmetro consoante a sua verificação ou não.

Nas secções seguintes estão presentes dois casos de estudo efetuados em duas travessias pedonais com características completamente distintas, de modo a testar a versatilidade e efetividade desta fase da metodologia.

5.4.1. Caso de Estudo – Avenida da Liberdade, Gião

O primeiro caso real onde a vertente preliminar da metodologia será aplicada situa-se na freguesia de Gião, concelho de Santa Maria da Feira e distrito de Aveiro. A Figura 23 mostra a localização da travessia no mapa, identificada através de uma circunferência vermelha.



Figura 23. Localização da travessia em estudo no mapa (Google Maps, 2021)

A travessia pedonal situa-se na Estrada Nacional 223, numa zona rural, na proximidade de uma curva na direção norte/sul e reta na direção sul/norte. Está situada também num raio de 400m de uma escola básica e 200m do estádio de futebol do clube local, sendo que estes fatores não têm um peso considerável na avaliação da segurança da travessia tendo em conta que os locais referidos estão presentes em ruas anexas, havendo várias oportunidades de atravessamento em zonas mais próximas dos mesmos. Apesar de ser uma zona rural, trata-se de uma estrada nacional, sendo uma zona bastante movimentada a qualquer hora do dia, com uma elevação especial de volume de tráfego nas horas de ponta (8h-10h e 17h-19h). A estrada tem um limite de velocidade imposto por lei de 50 km/h. O pavimento encontra-se em bastante bom estado no troço onde a travessia pedonal está inserida.

A Figura 24 mostra a travessia pedonal fotografada durante o dia, com céu limpo, sendo que a Figura 25 mostra a travessia pedonal fotografada durante a noite.



Figura 24. Fotografia da travessia pedonal durante o dia



Figura 25. Fotografia da travessia pedonal durante a noite

Na Tabela 16 está representada a tabela de “checklist” da Fase Estática da metodologia, devidamente preenchida consoante as características da travessia pedonal presente a estudo.

Tabela 16. Tabela de “checklist” para Fase Estática (Caso de Estudo 1)

Metodologia de Avaliação da Segurança de uma Travessia Pedonal Estática		Verificação	Peso	Peso Verificado	Peso se Não Verificar
Localização e Geometria da Via				2	
Zona	Centro Urbano	NV	1	0	-
	Zona Rural	V	2	2	-
	Zona Escolar, Hospitalar, Lar de Idosos, etc.	NV	1	0	-
Tipo de Estrada	Nacional/Principal	V	2	2	-
	Complementar/Secundária	NV	3	0	-
Localização na Estrada	Localizada numa Reta	NV	3	0	-
	Localizada numa Curva	V	2	2	-
	Localizada num Cruzamento	NV	1	0	-
	Localizada num Entroncamento	NV	2	0	-
	Localizada imediatamente junto a uma Rotunda	NV	1	0	-
Características da Estrada	Estrada de sentido único	NV	3	0	-
	Estrada de dois sentidos	V	2	2	-
	Estrada com uma ou duas vias	V	3	3	-
	Estrada com mais de duas vias	NV	1	0	-
	Existência de separador central ou refúgio para peões	NV	2	0	-
Visibilidade				3	
Peão para Veículo	Visibilidade Clara do Veículo em Aproximação	V	3	3	1
	Presença de Obstáculos	NV	1	2	2
Peão para Veículo	Visibilidade clara do Peão Adulto	V	3	3	1
	Visibilidade Clara do Peão Criança ou em Cadeira de Rodas	V	3	3	0
	Presença de Obstáculos	NV	1	2	2
Acessibilidade				1	
Presença de Rampa ou Rebaixamento do Passeio		NV	3	1	1
Presença de Equipamentos para Invisuais		NV	3	1	1
Altura e Largura do Passeio Regulares		NV	2	1	1
Presença de Obstáculos		NV	1	2	2
Sinalização				2	
Horizontal	Presença de Marcação no Pavimento	V	2	2	0
	Visualização Clara das Marcações	V	3	3	1
	Geometria das Marcações Regulares	V	2	2	1
Vertical	Presença de Sinalização Vertical	NV	3	0	0
	Visualização Clara da Sinalização Vertical	NV	3	1	1
Iluminação				2	
Iluminação Inexistente		NV	1	0	-
Iluminação Deficiente		V	2	2	-
Iluminação Eficiente		NV	3	0	-

Na Figura 26 encontramos um gráfico radar que traduz de forma simplificada os resultados obtidos na tabela acima, facilitando a análise e escrutínio dos mesmos.

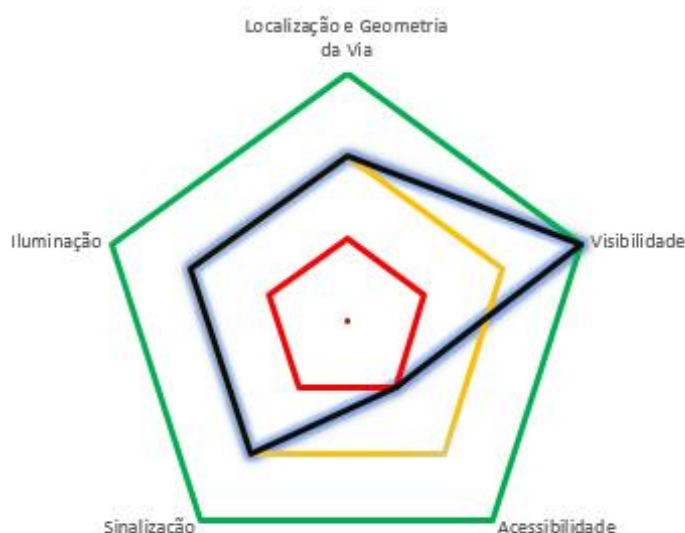


Figura 26. Gráfico Radar com resultados da Fase Estática (Caso de Estudo 1)

Analisando o radar, existem várias conclusões que se podem retirar acerca da travessia pedonal e do seu potencial risco para a segurança dos peões.

No que toca à Localização e Geometria da Via, o grau de risco é médio, sendo que, como já foi referido acima, apesar de se encontrar numa zona rural, logo, de risco baixo, trata-se de uma estrada nacional, sendo bastante movimentada. O facto de a travessia estar localizada em cima de uma curva faz com que o risco também aumente ligeiramente, contribuindo para que a caracterização da segurança da travessia neste parâmetro seja de grau 2 (média segurança).

No parâmetro da Visibilidade, o grau de segurança é o mais elevado (grau 3) tendo em conta que não existe presença de obstáculos e, partindo do princípio que as velocidades máximas praticadas neste troço estão dentro dos limites legais, tanto a visibilidade dos condutores para os peões como dos peões para os veículos é clara.

Relativamente à Acessibilidade, a inexistência de rampa ou rebaixamento do passeio no troço onde a travessia está inserida, a ausência de equipamentos para invisuais, e altura do passeio irregular faz com que neste parâmetro seja de risco elevado, ou seja, tenha um nível de segurança baixo (grau 1).

No que toca à Sinalização, as marcações horizontais estão conforme a regulamentação e estão bem conservadas, sendo a sua visualização bastante fácil. Já a Sinalização Vertical, que apenas existe num dos sentidos (sul/norte), encontra-se bastante desgastada, passando despercebida, como se pode observar na Figura 24. Isto traduz-se em grau de risco intermédio para este parâmetro (grau 2).

Por fim, na vertente da Iluminação, apesar da iluminação da travessia estar em bom estado, a iluminação do peão num dos passeios é bastante deficiente devido à existência de arborização que cria uma zona de sombra no local de atravessamento, como é possível visualizar na Figura 24, fazendo com que seja muito difícil para os condutores se aperceberem da existência de um peão naquela zona. Posto isto, o grau de risco para este parâmetro é intermédio, sendo o nível de segurança 2.

A Tabela 17 mostra quais são as medidas a aplicar tendo em conta os resultados obtidos acima.

Tabela 17. Tabela de recomendações para melhoria da segurança da travessia pedonal (Caso de Estudo 1)

		Recomendações	
Localização e Geometria da Via	Mudança da localização da travessia pedonal	Não Aplicar	
	Colocação de refúgio central de peões	Não Aplicar	
Visibilidade	Mudança da localização da travessia pedonal	Não Aplicar	
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários	Não Aplicar	
Acessibilidade	Criação de rampa ou rebaixamento da guia do passeio	Aplicar	
	Implementação de piso tátil	Aplicar	
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários	Não Aplicar	
	Aumento da largura do passeio para as medidas regulamentares mínimas	Aplicar	
Sinalização	Manutenção das marcações no pavimento	Não Aplicar	
	Manutenção da sinalização vertical	Aplicar	
	Colocação devida da sinalização vertical, consoante as normas	Aplicar	
Iluminação	Colocação de iluminação na travessia pedonal	Não Aplicar	
	Alteração da localização da iluminação para um local onde esta seja eficiente	Aplicar	

Analisando a tabela, conclui-se que seria recomendada a criação de rampa ou rebaixamento da guia do passeio, a implementação de piso tátil, o aumento da largura do passeio para as medidas regulamentares mínimas, a colocação devida e manutenção da sinalização vertical, consoante as regulamentação em vigor, bem como a alteração da localização da iluminação para uma zona

onde esta seja eficiente. Conclui-se então que esta travessia pedonal tem um grau de risco intermédio.

5.4.2. Caso de Estudo – Avenida da Universidade, Aveiro

O segundo caso real onde a vertente preliminar da metodologia será aplicada situa-se na Avenida da Universidade, concelho e distrito de Aveiro. A Figura 27 mostra a localização da travessia no mapa, identificada através de uma circunferência vermelha.

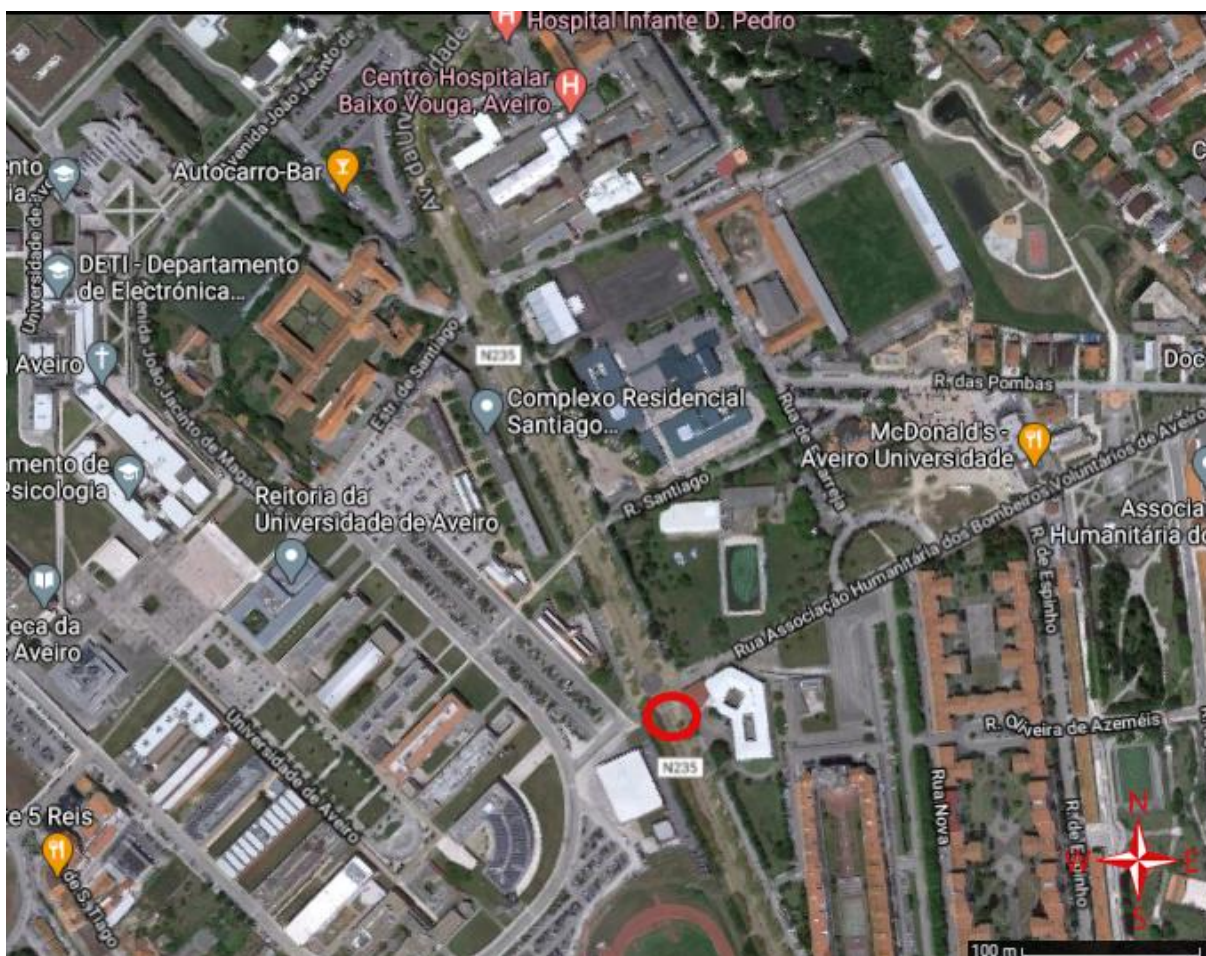


Figura 27. Localização da travessia em estudo no mapa (Google Maps, 2021)

A travessia pedonal situa-se na Estrada Nacional 235, numa zona urbana, na proximidade de uma rotunda. Está situada também imediatamente ao lado do Campus da Universidade de Aveiro, a 150m de uma escola básica e a 400m do Hospital de Aveiro. É uma zona bastante movimentada a qualquer hora do dia, com uma elevação especial de volume de tráfego nas horas de ponta (8h-10h e 17h-19h). A estrada tem um limite de velocidade imposto por lei de

50 km/h. O pavimento encontra-se em bastante bom estado no troço onde a travessia pedonal está inserida.

A Figura 28 representa uma imagem da travessia em estudo.



Figura 28. Fotografia da travessia pedonal (Google Maps, 2019)

Na Tabela 18 está representada a tabela de “checklist” da Fase Estática da metodologia, devidamente preenchida consoante as características da travessia pedonal presente a estudo.

Tabela 18. Tabela de “checklist” para Fase Estática (Caso de Estudo 2)

Metodologia de Avaliação da Segurança de uma Travessia Pedonal Estática		Verificação	Peso	Peso Verificado	Peso se Não Verificar
Localização e Geometria da Via				1	
Zona	Centro Urbano	V	1	1	-
	Zona Rural	NV	2	0	-
	Zona Escolar, Hospitalar, Lar de Idosos, etc.	V	1	1	-
Tipo de Estrada	Nacional/Principal	V	2	2	-
	Complementar/Secundária	NV	3	0	-
Localização na Estrada	Localizada numa Reta	NV	3	0	-
	Localizada numa Curva	NV	2	0	-
	Localizada num Cruzamento	NV	1	0	-
	Localizada num Entroncamento	NV	2	0	-
	Localizada imediatamente junto a uma Rotunda	V	1	1	-
Características da Estrada	Estrada de sentido único	NV	3	0	-
	Estrada de dois sentidos	V	2	2	-
	Estrada com uma ou duas vias	NV	3	0	-
	Estrada com mais de duas vias	V	1	1	-
	Existência de separador central ou refúgio para peões	V	2	2	-
Visibilidade				3	
Peão para Veículo	Visibilidade Clara do Veículo em Aproximação	V	3	3	1
	Presença de Obstáculos	NV	1	2	2
Peão para Veículo	Visibilidade clara do Peão Adulto	V	3	3	1
	Visibilidade Clara do Peão Criança ou em Cadeira de Rodas	V	3	3	0
	Presença de Obstáculos	NV	1	2	2
Acessibilidade				3	
Presença de Rampa ou Rebaixamento do Passeio		V	3	3	1
Presença de Equipamentos para Invisuais		V	3	3	1
Altura e Largura do Passeio Regulares		V	2	2	1
Presença de Obstáculos		NV	1	2	2
Sinalização				3	
Horizontal	Presença de Marcação no Pavimento	V	2	2	0
	Visualização Clara das Marcações	V	3	3	1
	Geometria das Marcações Regulares	V	2	2	1
Vertical	Presença de Sinalização Vertical	V	3	3	0
	Visualização Clara da Sinalização Vertical	V	3	3	1
Iluminação				2	
Iluminação Inexistente		NV	1	0	-
Iluminação Deficiente		V	2	2	-
Iluminação Eficiente		NV	3	0	-

Na Figura 29 encontramos um gráfico radar que traduz de forma simplificada os resultados obtidos na tabela acima, facilitando a análise e escrutínio dos mesmos.

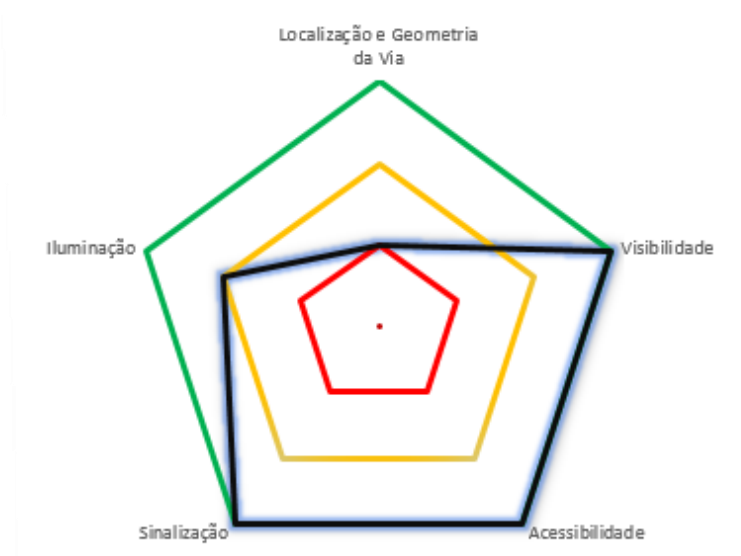


Figura 29. Gráfico Radar com resultados da Fase Estática (Caso de Estudo 2)

Analisando o radar, existem várias conclusões que se podem tirar acerca da travessia pedonal e o seu potencial risco para a segurança dos peões.

No que toca à Localização e Geometria da Via, o nível de segurança é baixo (nível 1), o que pode ser justificado com o facto da travessia se encontrar numa zona urbana, perto de uma escola básica, hospital e universidade, tratar-se de uma estrada nacional com quatro vias e estando nas imediações de uma rotunda. O facto de existir um refúgio central para peões faz com que a travessia por pouco suba para o nível de segurança médio neste parâmetro, não sendo o suficiente para que tal aconteça.

Nos parâmetros da Visibilidade, Acessibilidade e Sinalização, não foram encontradas quaisquer falhas dignas de pertencerem à lista, sendo o grau de segurança o mais elevado para estes parâmetros.

Por fim, na vertente da Iluminação, apesar da iluminação da travessia estar em bom estado, a iluminação do peão num dos passeios é bastante deficiente devido à inexistência de iluminação em ambos os passeios (apenas existe iluminação no refugio central), fazendo com que seja muito difícil para os condutores se aperceberem da existência de um peão naquela zona. Posto isto, o grau de risco para este parâmetro é intermédio, sendo o nível de segurança 2.

A Tabela 19 mostra quais são as medidas a aplicar tendo em conta os resultados obtidos acima.

Tabela 19. Tabela de recomendações para melhoria da segurança da travessia pedonal (Caso de Estudo 2)

Recomendações		
Localização e Geometria da Via	Mudança da localização da travessia pedonal	Aplicar
	Colocação de refúgio central de peões	Não Aplicar
Visibilidade	Mudança da localização da travessia pedonal	Não Aplicar
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários	Não Aplicar
Acessibilidade	Criação de rampa ou rebaixamento da guia do passeio	Não Aplicar
	Implementação de piso tátil	Não Aplicar
	Remoção dos obstáculos permanentes ou colocação de dispositivos que impeçam a presença de obstáculos temporários	Não Aplicar
	Aumento da largura do passeio para as medidas regulamentares mínimas	Não Aplicar
Sinalização	Manutenção das marcações no pavimento	Não Aplicar
	Manutenção da sinalização vertical	Não Aplicar
	Colocação devida da sinalização vertical, consoante as normas	Não Aplicar
Iluminação	Colocação de iluminação na travessia pedonal	Não Aplicar
	Alteração da localização da iluminação para um local onde esta seja eficiente	Aplicar

Analisando a tabela, conclui-se que seria recomendada a mudança de localização da travessia pedonal tendo em conta o parâmetro da Localização e Geometria da Via, bem como a alteração da localização da iluminação para uma zona onde esta seja eficiente. Neste caso específico, a recomendação para a alteração da localização da travessia não seria viável tendo em conta o seu meio envolvente. Já na vertente da iluminação, as zonas mais adequadas para a sua alteração seriam zonas em que houvesse clara iluminação dos peões que esperam para atravessar, sendo essa a única deficiência da iluminação atual. Conclui-se então que esta travessia pedonal tem um grau de risco intermédio.

5.5.Fase Dinâmica da Metodologia

5.5.1. Especificações do Sistema STAP

Para a aplicação da Fase Dinâmica da metodologia será necessário o apoio de um sistema de monitorização como é o caso do sistema de Sinalização Transversal Ativa de Passadeiras (STAP), cuja aplicação prática na metodologia será descrita na secção seguinte.

O sistema STAP, que foi desenvolvido pelo Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro e pela MicroIO, Lda., consiste num conjunto de postes comunicantes, com toda a sensorização e eletrónica embutida, facilmente aplicáveis a qualquer passadeira (Bandeira, 2019).

Os seus principais objetivos são evitar situações de perigo perto das passadeiras devido à falta de visibilidade, excessos de velocidade e distrações de peões, bem como alertar todos os intervenientes através de projeção de sinalização na estrada, sinais sonoros para invisuais e painel informativo com a velocidade instantânea dos veículos, sendo que a solução está otimizada para uma ou duas vias de tráfego (Bandeira, 2019).

No início do projeto que permitiu desenvolver o sistema STAP foi definido um conjunto de requisitos para o sistema, sendo estes baseados na grandeza da deteção (detetar veículos em movimento e peões), velocidade (medir a velocidade instantânea dos veículos, informando os condutores), sinalização (no modo diurno e noturno iluminar os limites da passadeira) e iluminação (no modo noturno, iluminar diretamente a passadeira) (Bandeira, 2019).

Para que todos os requisitos sejam cumpridos, a solução deve contemplar a lista de características que agora se define (Bandeira, 2019):

- Ser aplicável a passadeiras com ou sem semáforos;
- Detetar a velocidade de aproximação dos veículos através de um radar;
- Detetar a aproximação de peões através de uma câmara;
- Projetar feixes luminosos de diferentes cores que delimitem a passadeira;
- Configurar os perfis dos feixes luminosos mediante os eventos detetados;
- Incorporar um sensor de luminosidade ambiente;
- Possuir um foco de luz branca, configurável em intensidade, mediante a luminosidade;
- Permitir comunicação sem-fios entre os postes;
- Permitir o envio de dados para plataformas de informação e gestão urbana.

Nas Figuras 30 e 31 estão representados, respetivamente, a visão lateral do poste principal do sistema que ficará voltado para a via, fazendo a deteção dos veículos e das suas velocidades, e, a visão lateral do poste principal do sistema que ficará voltado para a travessia pedonal, fazendo a deteção dos peões.



Figura 30. Visão lateral do poste, voltado para a via (Bandeira, 2019)

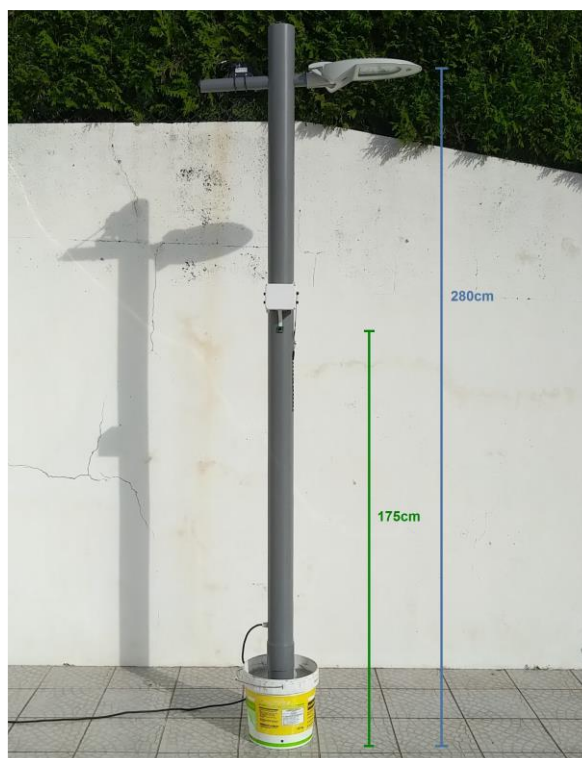


Figura 31. Visão lateral do poste, voltado para a travessia pedonal (Bandeira, 2019)

5.5.2. Descrição da Fase Dinâmica

Para a Fase Dinâmica da metodologia, como já foi referido acima, serão tidos em conta vários fatores, sendo os mais importantes a velocidade e o volume de veículos e peões. Decidiu-se então utilizar uma metodologia já existente, ainda que na fase de desenvolvimento, proposta pelo *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP), presente no relatório 562. Esta metodologia seria adaptada para os moldes europeus e utilizada de modo a complementar a metodologia geral que é o produto desta dissertação.

No geral, esta Fase terá em consideração a Situação Climatérica, a Situação Temporal, as Velocidades e os Volumes, sendo que a metodologia do NCHRP entra com outras variáveis, estando nas velocidades e volumes o maior peso e importância para a determinação do risco na travessia pedonal.

Pegando para já na metodologia do NCHRP e tendo em conta que esta metodologia foi desenvolvida nos Estados Unidos, a primeira coisa a ser feita foi converter as unidades e valores para a realidade europeia, mais especificamente, portuguesa. Converteram-se então as unidades de *miles per hour* (mph) para quilómetros por hora (km/h), bem como *feet* (ft) para metros (m)

e *feet per second* (ft/s) para metros por segundo (m/s). Outra conversão feita foi a de limite de velocidade, tendo passado de 35mph para 55km/h. Para além destas alterações, também se fundiram os níveis *Red* e *Signal* num só, denominado de *Signal* (Sinalização SemafORIZADA).

Para se chegar ao resultado pretendido no que toca à segurança da travessia tendo em conta o volume e a velocidade, é necessário o preenchimento da Tabela 20, que combina valores que podem ser extraídos do sistema STAP, valores que terão que ser levantados *in-situ* pelo analista e valores que são calculados automaticamente pela folha de cálculo, utilizando os valores do sistema e do analista.

Os valores que, por ventura, poderão ser extraídos pelo sistema STAP são a velocidade dos veículos (S_{maj}) em km/h, o volume de peões (V_p) em peões/h, o volume dos veículos (V_{maj-s} e V_{maj-d}) em veic/h e a velocidade dos peões (S_p) em m/s. Tendo em conta que o sistema STAP possui um radar que permite registar as velocidades, na prática, o objetivo seria registar as velocidades dos veículos e dos peões de hora em hora, extraindo para a folha de cálculo o valor do 85º percentil das velocidades para os veículos e do 15º percentil para os peões, de cada hora. Se não for possível a utilização do sistema STAP, deverá ser considerado o limite de velocidade em vigor na via onde se insere a travessia pedonal para os veículos e, no que toca a peões e de acordo com o Relatório 562 do NCHRP, uma velocidade de 1,1 m/s para a população geral e 0,9 m/s para a população idosa. O sistema também possui características que permitem a contagem automática de veículos e peões, sendo que na ausência do sistema, teria que ser o analista a fazer essa contagem manualmente. A contagem dos volumes de peões (V_p) e volumes de veículos (V_{maj-s}) terá em conta os dois sentidos (caso a via tenha mais que um sentido), sendo $V_{maj-s} = V_{maj-d}$. Tal igualdade não se verifica sempre que exista um refúgio de peões, fazendo com que o volume de veículos seja considerado individualmente em cada sentido (V_{maj-d}).

Os valores que terão que ser levantados no local pelo analista são a distância de atravessamento dos peões (L) em metros, a capacidade de cedência dos condutores e se a área adjacente à travessia pedonal tem uma população inferior ou superior a 10000 habitantes. A distância de atravessamento dos peões representa a distância que um peão precisa de atravessar antes de chegar ao passeio oposto ou a um refúgio de peões caso exista. Se existir estacionamento, a sua largura deverá ser incluída na medição da distância de atravessamento. Já a capacidade de cedência dos condutores reflete o comportamento típico dos condutores no local. Se os condutores tendem a parar para um peão que tenta atravessar, então a capacidade de cedência é alta. Caso contrário, a capacidade de cedência é baixa. Nos casos onde não seja possível fazer esta avaliação por falta de familiarização da zona em estudo por parte do analista, deverá considerar-se o pior caso, que neste caso será a baixa capacidade de cedência.

Um outro valor que deverá ser colocado na tabela é o tempo de reação dos peões (t_s) em segundos, que será usado no cálculo do intervalo crítico, sendo 3 segundos a sugestão do *Highway Capacity Manual*.

Por fim, os cálculos feitos automaticamente pela folha de cálculo são a verificação da condição de sinalização (SC) em peões/h, o intervalo crítico (T_c) em segundos, a taxa de fluxo veicular (v) em veic/h, o atraso médio de peões (d_p) em s/pessoa e o atraso total de peões (D_p) em peões-h.

No que toca à verificação da condição de sinalização, foram determinadas equações que permitem calcular o número mínimo de veículos que seriam necessários no volume de estrada para garantir a condição da sinalização. A recomendação feita é que os valores das condições de sinalização dos veículos para atravessar duas faixas sejam usados como os valores das condições de sinalização dos peões. Como os valores das condições de sinalização dos peões refletem o número total de atravessamentos de peões, os valores das condições de sinalização dos veículos devem ser divididos por 0,75 para refletir uma divisão de distribuição direcional assumida de 75/25. Diferentes equações são fornecidas para condições de baixa e alta velocidade.

O intervalo crítico (equação 5) é o tempo em segundos abaixo do qual um peão não tentará iniciar o atravessamento.

$$T_c = \frac{L}{s_p} + t_s \quad (5)$$

A taxa de fluxo veicular (v) é uma medida do número de veículos por segundo e é determinada pela equação 6 se a velocidade for inferior ou igual a 55 km/h ou pela equação 7 caso a velocidade for superior a 55 km/h.

$$v = \frac{V_{maj-p}}{3600} \quad (6)$$

$$v = \left(\frac{V_{maj-p}}{0.7} \right) / 3600 \quad (7)$$

Em relação ao atraso médio de peões e ao atraso total de peões, estes parâmetros são determinados através da equação 8 e 9, respetivamente.

$$d_p = \frac{1}{v} (e^{v \cdot T_c} - [v \cdot T_c] - 1) \quad (8)$$

$$D_p = \frac{d_p * V_p}{3600} \quad (9)$$

A Tabela 20 representa a folha de cálculo da metodologia do NCHRP, estando preenchida com valores realistas com o efeito de servir de exemplo.

Tabela 20. Folha de Cálculo da Metodologia do NCHRP preenchida (Exemplo 1)

Passo 1: Selecionar folha de cálculo		
Limite de velocidade ou velocidade registada (85º percentil)	<i>f_a</i>	50
População na área adjacente > 10,000? (<i>SIM</i> ou <i>NÃO</i>)	<i>f_b</i>	não
Passo 2: A travessia é utilizada por volumes de peões suficientes que justifiquem controlo de tráfego?		
Volume de peões (peões/h), <i>V_p</i>	<i>2_a</i>	100
Resultado: Ir para passo 3.		
Passo 3: A travessia verifica as condições para sinalização semaforizada?		
Volume de veículos, ambos os sentidos (veih), <i>V_{v,q,i}</i>	<i>3_a</i>	400
[Calculado automaticamente] Volume de peões preliminar para verificar condições de sinalização	<i>3_b</i>	629
[Calculado automaticamente] Volume de peões mínimo requerido para verificar condições de sinalização	<i>3_c</i>	629
O 15º percentil da velocidade de atravessamento dos peões é inferior a 1.1 m/s? (<i>SIM</i> ou <i>NÃO</i>)	<i>3_d</i>	não
Se o 15º percentil da velocidade de atravessamento dos peões for < 1.1 m/s então reduzir <i>3_c</i> até 50%.	% taxa de redução para <i>3_c</i> (até 50%)	<i>3_e</i>
	Valor reduzido ou <i>3_c</i>	<i>3_f</i>
Resultado: A condição de sinalização não foi alcançada. Ir para passo 4.		
Passo 4: Atraso de peões estimado		
Distância de atravessamento dos peões, passeio a passeio (m), <i>L</i>	<i>4_a</i>	7
Velocidade dos peões (m/s), <i>S_p</i> (velocidade sugerida = 1,1 m/s)	<i>4_b</i>	1,1
Tempo de reação e folga final dos peões (s), <i>t</i> , (tempo de reação sugerido = 3 sec)	<i>4_c</i>	3
[Calculado automaticamente] Lacuna crítica requerida para o peão atravessar (s), <i>T_c</i>	<i>4_d</i>	9
Volume de veículos em ambos os sentidos OU num dos sentidos, caso exista a presença de um refugio central (veih), <i>V_{v,q,i}</i>	<i>4_e</i>	400
Taxa de fluxo veicular (veifs), <i>v</i>	<i>4_f</i>	0,11
Atraso médio de peões (s/pessoa), <i>d_p</i>	<i>4_g</i>	7
Atraso total de peões (h), <i>D_p</i> , O valor da célula 4h é o atraso calculado estimado para todos os peões a atravessar a estrada sem travessia (assume 0% de cedência de passagem). Se o valor atual de atraso total de peões for medido in-situ, esse valor deverá ser inserido na célula 4i, para substituir o valor calculado na célula 4h.	<i>4_h</i>	0,2
	<i>4_i</i>	
Passo 5: Selecionar tratamento baseado no atraso total de peões e capacidade de cedência dos motoristas.		
Capacidade de cedência pelos motoristas esperada na região: <i>ALTA para Alta capacidade</i> ou <i>BAIXA para Baixa capacidade</i>	<i>5_a</i>	BAIXA

Contudo, poderão existir casos em que não seja necessário o preenchimento total da Tabela 20, como o fluxograma representado na Figura 32 mostra.

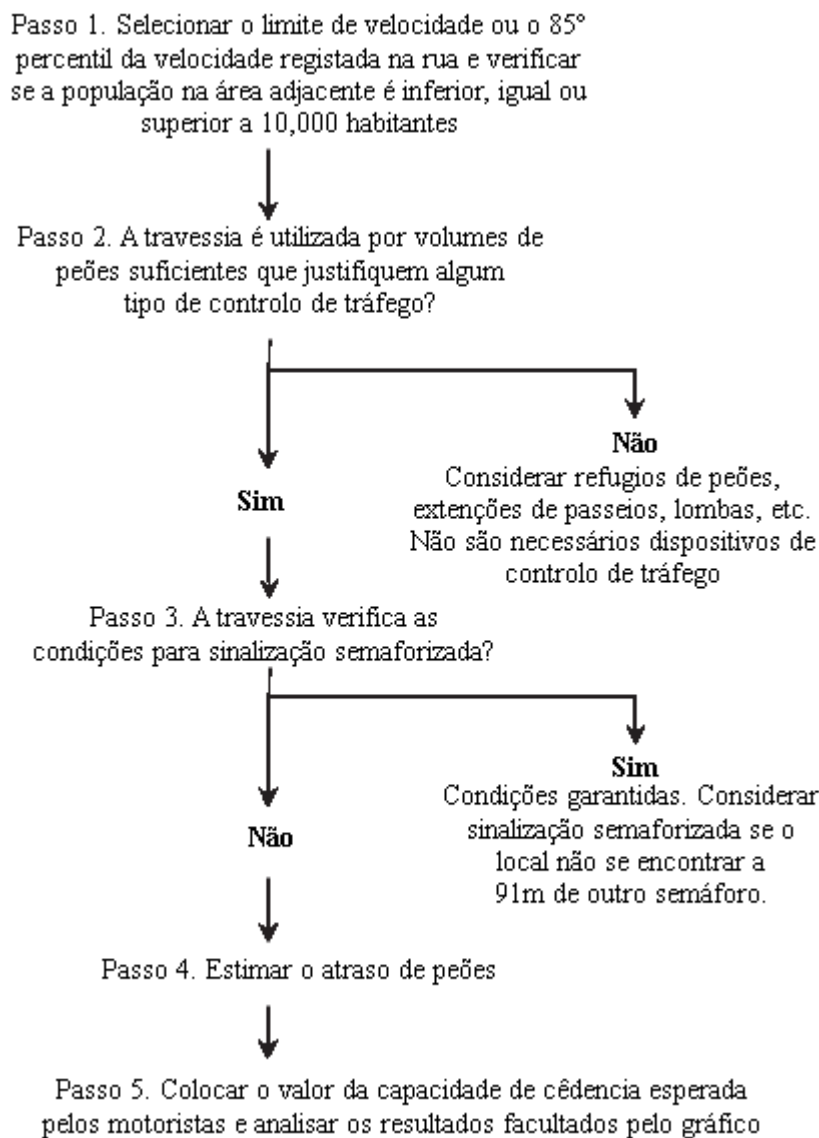


Figura 32. Fluxograma de diretrizes da metodologia (Fitzpatrick, 2007 – Adaptado)

O resultado final, partindo do princípio que são cumpridos os cinco passos da Tabela 20 que determina qual será o grau de risco da travessia tendo em conta as velocidades e os volumes e qual o tipo de medida de segurança a ser aplicada, é apresentado num gráfico (Figura 33) que é elaborado automaticamente consoante as características que são extraídas da Tabela 20. Tendo em conta que se está a falar de valores que variam consoante as características da travessia, volumes e velocidades, o gráfico raramente tem a mesma forma. Utilizando os valores exemplo da Tabela 20, o gráfico final produzido está representado na Figura 33.

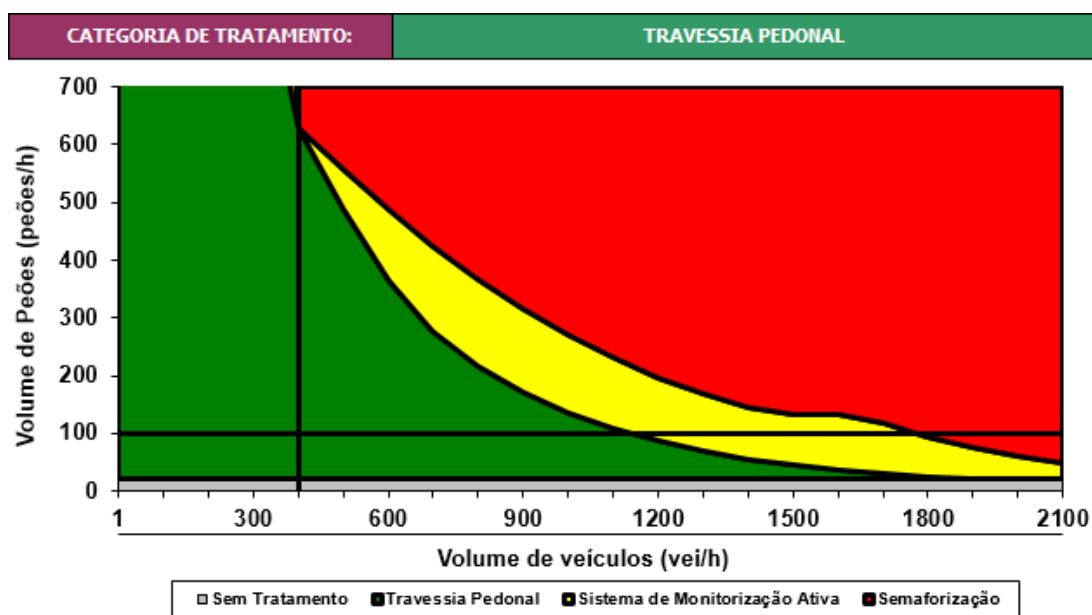


Figura 33. Gráfico final da metodologia (Exemplo 1)

Na Tabela 21 está representado outro exemplo, desta vez com valores de velocidade e volumes superior, resultando num gráfico completamente diferente, exibido na Figura 34.

Tabela 21. Folha de Cálculo da Metodologia do NCHRP preenchida (Exemplo 2)

Passo 1: Selecionar folha de cálculo		
Limite de velocidade ou velocidade registada (85* percentil)	f_a	60
População na área adjacente > 10,000? (<i>SIM</i> ou <i>NÃO</i>)	f_b	não
Passo 2: A travessia é utilizada por volumes de peões suficientes que justifiquem controlo de tráfego?		
Volume de peões (peões/h), V_p	2_a	400
Resultado: Ir para passo 3.		
Passo 3: A travessia verifica as condições para sinalização semaforizada?		
Volume de veículos, ambos os sentidos (vei/h), $V_{v,i}$	3_a	900
[Calculado automaticamente] Volume de peões preliminar para verificar condições de sinalização	3_b	123
[Calculado automaticamente] Volume de peões mínimo requerido para verificar condições de sinalização	3_c	123
O 15* percentil da velocidade de atravessamento dos peões é inferior a 1.1 m/s? (<i>SIM</i> ou <i>NÃO</i>)	3_d	não
Se o 15* percentil da velocidade de atravessamento dos peões for < 1.1 m/s então reduzir 3_c até 50%.	% taxa de redução para 3_c (até 50%)	3_e
	Valor reduzido ou 3_c	3_f 123
Resultado: Condições garantidas. Considerar sinalização semaforizada se o local não se encontrar a 91m de outro semáforo.		
Passo 4: Atraso de peões estimado		
Distância de atravessamento dos peões, passeio a passeio (m), L	4_a	7
Velocidade dos peões (m/s), S_p (velocidade sugerida = 1,1 m/s)	4_b	1,1
Tempo de reação e folga final dos peões (s), t_r (tempo de reação sugerido = 3 sec)	4_c	3
[Calculado automaticamente] Lacuna crítica requerida para o peão atravessar (s), T	4_d	9
Volume de veículos em ambos os sentidos OU num dos sentidos, caso exista a presença de um refugio central (vei/h), $V_{v,i}$	4_e	900
Taxa de fluxo veicular (veits), v	4_f	0,36
Atraso médio de peões (s/pessoa), d_p	4_g	69
Atraso total de peões (h), D _p O valor da célula 4h é o atraso calculado estimado para todos os peões a atravessar a estrada sem travessia (assumindo 0% de cedência de passagem). Se o valor atual de atraso total de peões for medido in-situ, esse valor deverá ser inserido na célula 4i, para substituir o valor calculado na célula 4h.	4_h	7,6
	4_i	
Passo 5: Selecionar tratamento baseado no atraso total de peões e capacidade de cedência dos motoristas.		
Capacidade de cedência pelos motoristas esperada na região: <i>ALTA para Alta capacidade</i> ou <i>BAIXA para Baixa capacidade</i>	5_a	BAIXA

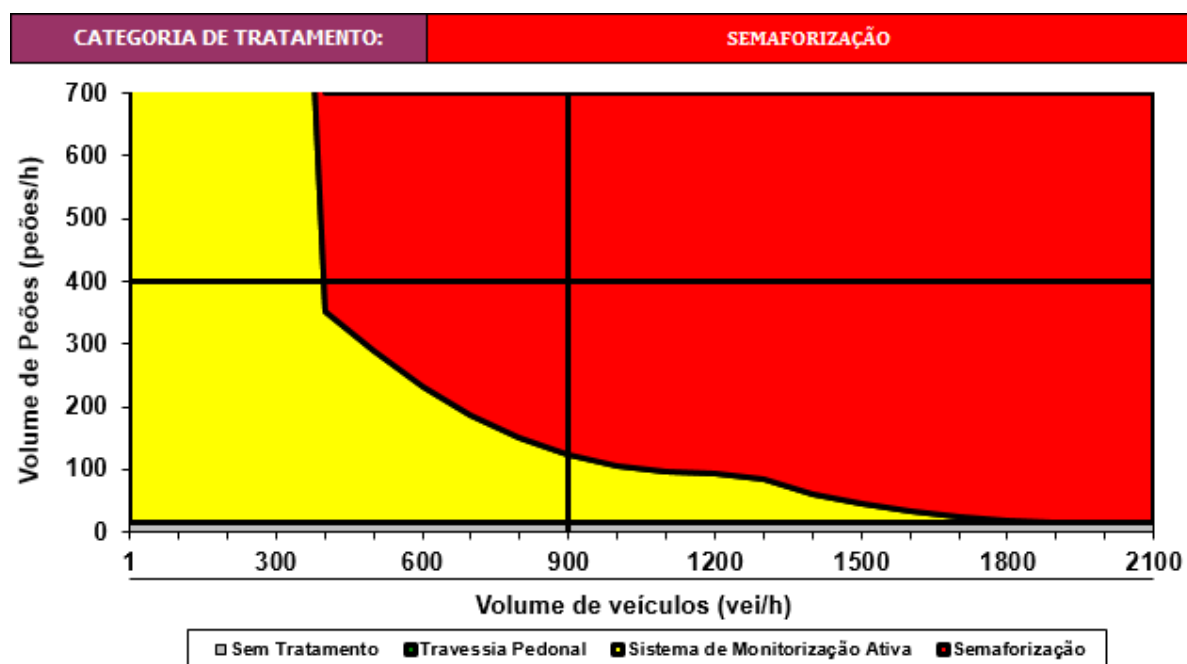


Figura 34. Gráfico final da metodologia (Exemplo 2)

Como é possível observar nos dois exemplos, os gráficos diferem completamente devido à velocidade dos veículos, sendo este o fator com maior peso no que toca a grau de risco. No entanto, a interseção dos volumes de peões (eixo das ordenadas) e volume de veículos (eixo das abcissas) marca o ponto que, consoante o seu posicionamento no gráfico, determina o tipo de risco e solução a adotar.

Para a metodologia geral, caso a velocidade registada pelo sistema STAP seja inferior a 30 km/h, a metodologia do NCHRP deixa de ter efeito, sendo substituída pelo gráfico do PV^2 , representado na Figura 9, que entrará apenas com os volumes de veículos e peões.

No que toca à Situação Climatérica, o sistema estaria ligado à rede, recolhendo em tempo real o estado meteorológico do local em estudo. Neste parâmetro teríamos céu limpo com grau de perigosidade baixo (cor verde), chuva com grau de perigosidade intermédio (cor amarela) e neve/geada com grau de perigosidade elevado (cor vermelha). Este parâmetro seria incorporado na metodologia geral apenas como forma de aumentar o nível de risco, ou seja, se, por exemplo, no gráfico de volumes e velocidades o nível de risco for intermédio, independentemente da situação climatérica ser céu limpo ou chuva, o nível de risco manter-se-á. Caso a situação meteorológica seja neve/geada, aí haverá uma alteração de nível de risco para risco elevado. O outro exemplo onde a situação climatérica teria influência seria no caso de no gráfico de volumes e velocidades o nível de risco ser baixo, quer estivesse chuva ou neve/geada, o grau de risco subiria para intermédio. A exceção seria se a temperatura ambiente fosse inferior a 0° Celsius, subindo assim para o grau de risco para o patamar mais elevado. Isto deve-se ao facto

de, quando se verificam temperaturas abaixo deste valor, é praticamente garantida a formação de gelo na estrada.

Por fim, a Dimensão Temporal entraria na forma de matriz, onde os resultados seriam expostos por cores de hora em hora. A Tabela 22 mostra um excerto da matriz que seria utilizada para registar os graus de risco da travessia ao longo do tempo.

Tabela 22. Excerto da Matriz Final da Metodologia preenchida (Exemplo)

Hora/Dia	01/jan	02/jan	03/jan	04/jan	05/jan	06/jan	07/jan	08/jan	09/jan	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan	14/jan	15/jan
00:00															
01:00															
02:00															
03:00															
04:00															
05:00															
06:00															
07:00															
08:00															
09:00															
10:00															
11:00															
12:00															
13:00															
14:00															
15:00															
16:00															
17:00															
18:00															
19:00															
20:00															
21:00															
22:00															
23:00															

Elevada Segurança / Baixo Risco
Média Segurança / Risco Intermédio
Baixa Segurança / Risco Elevado

5.6. Sintetização da Metodologia

Estando as explicações detalhadas da Metodologia presentes nos subcapítulos anteriores, este subcapítulo tem como função um breve resumo de como a Metodologia deverá ser aplicada.

Sugere-se que a aplicação da Metodologia seja feita por fases, sendo esta avaliação um processo longo e demorado no que ao tempo diz respeito. Posto isto, as fases em que a Metodologia deverá ser aplicada são as seguintes:

- **Fase 1.0 – Análise Passiva:** nesta fase, será feita uma avaliação passiva utilizando a Fase Estática da Metodologia para identificar as deficiências a nível físico da travessia em estudo;
- **Fase 1.1 – Implementação de Medidas Passivas:** esta fase passará por implementar as medidas recomendadas tendo em conta as deficiências encontradas na Fase 1.0 (por exemplo a manutenção da sinalização vertical, colocação ou alteração da iluminação pública, etc.);

- **Fase 2.0 – Recolha de Dados (Volumes e Velocidades):** nesta fase, será feita uma avaliação utilizando a Fase Dinâmica da Metodologia para identificar o grau de risco tendo em conta os fatores dinâmicos que podem afetar a travessia. Como foi explicado no subcapítulo anterior, com o auxílio do sistema STAP, será feito um levantamento dos dados de volumes e velocidades por hora, bem como da meteorologia. Através destes dados e do auxílio da Metodologia do NCHRP, será atribuído um grau de perigosidade (verde=baixo; amarelo=intermédio; vermelho=elevado) que será colocado na matriz temporal ao longo das horas e dos dias;

- **Fase 2.1 – Recolha de Dados + Pré-Avisos Luminosos:** nesta fase, será feita uma avaliação ativa utilizando a Fase Dinâmica da Metodologia e o sistema STAP. Tendo em conta que por dia existe uma hora de ponta (que será a hora do dia com o risco mais elevado), quando forem atingidos 15 dias em que a hora de ponta tenha risco intermédio, serão utilizados os pré-avisos luminosos incorporados no sistema STAP para atender à necessidade que a travessia possui para se tornar mais segura. A avaliação e monitorização continuará a ser feita de forma a garantir que essas medidas são necessárias para aumentar a segurança da travessia;

- **Fase 2.2 - Recolha de Dados + Pré-Avisos Luminosos + Painéis de Informação de Velocidade:** nesta fase, será feita uma avaliação ativa utilizando a Fase Dinâmica da Metodologia e o sistema STAP. A lógica utilizada nesta fase é exatamente a mesma que na Fase 2.1, com a diferença de quando forem atingidos 30 dias em que a hora de ponta tenha risco intermédio, será imediatamente aplicado o sistema de informação de velocidades dos veículos, em conjunto com os pré-avisos luminosos, como forma de atenuar o risco da travessia, sendo que a avaliação e monitorização continuará a ser feita de forma a garantir que essas medidas são, de facto, eficazes para garantir o nível de risco da travessia baixo.

- **Fase 2.3 - Recolha de Dados + Pré-Avisos Luminosos + Painéis de Informação de Velocidade + Informação de Peões Próximos da Travessia:** nesta fase, será feita uma avaliação ativa utilizando a Fase Dinâmica da Metodologia e o sistema STAP. Nesta fase, caso sejam atingidos 45 dias em que a hora de ponta tenha risco intermédio ou 15 dias de risco elevado, proceder-se-á à ativação do sistema de informação de peões na travessia presente incorporado no sistema STAP. A monitorização e análise do risco da travessia continuará a ser efetuada.

- **Fase 3.0 – Semaforizar a Travessia Pedonal:** nesta fase, será feita uma avaliação ativa utilizando a Fase Dinâmica da Metodologia e sinalização luminosa. A partir do momento em que a hora de ponta tenha risco elevado em 30 dias, será imediatamente aplicado um sistema de sinalização luminosa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

A presente dissertação tinha por base a avaliação do desempenho e da segurança em travessias pedonais nas quais se pretendia instalar um sistema de sinalização e de monitorização ativo, que se encontra a ser desenvolvido no Instituto de Telecomunicações e na MicroIO Serviços de Eletrónica, Lda, bem como a sua comparação com sistemas semelhantes, sendo apoiada num caso de estudo aplicado à cidade de Aveiro, onde teria capacidade de influência na escolha de parâmetros de classificação, deteção, entre outros, e teria o apoio profissional da área de eletrónica, através das entidades referidas, para poder obter os dados necessários a partir das infraestruturas tecnológicas disponíveis. Tendo em conta a pandemia global que afetou e continua a afetar a sociedade, tais avaliações e casos de estudo envolvendo o sistema de sinalização e monitorização ativo tornaram-se impossíveis de concretizar, tendo sido necessária uma adaptação dos objetivos a realizar para a presente dissertação.

Posto isto, foi proposto o desenvolvimento de uma metodologia que permitisse avaliar o risco de qualquer travessia pedonal não semaforizada. A metodologia desenvolvida foi dividida em duas partes, uma Fase Estática, que será sempre aplicada em primeiro lugar para perceber quais são as deficiências físicas da travessia pedonal, e uma Fase Dinâmica, que tem em consideração a exposição e as condições meteorológicas.

Foram realizados dois casos de estudo para a Fase Estática da metodologia que permitiram concluir que é possível realizar uma análise preliminar do risco de qualquer travessia pedonal, apontando as suas lacunas físicas no que toca à localização, visibilidade, acessibilidade, sinalização e iluminação, bem como apresentando soluções que permitam a correção dessas lacunas, reforçando assim a segurança da travessia pedonal antes de se analisarem os fatores dinâmicos.

Para a elaboração da Fase Dinâmica da metodologia foram utilizadas uma versão adaptada de uma metodologia já existente proposta pelo NCHRP, o gráfico do PV^2 (no caso específico da velocidade registada ser inferior a 30 km/h), as condições meteorológicas do local e uma matriz temporal para registar o grau de risco ao longo do período em que a travessia estiver sujeita a avaliação. Tendo em conta as adversidades descritas no primeiro parágrafo deste subcapítulo, não foi possível por em prática esta fase da metodologia, visto que envolveria realizar trabalho de campo com o sistema de sinalização e monitorização ativo, pois seria

através deste mesmo sistema que iriam ser recolhidos os dados dos volumes e velocidades a ser aplicados na folha de cálculo que, por sua vez, iria reproduzir o resultado da avaliação do risco da vertente dinâmica. Optou-se então por preencher a folha de cálculo com valores aleatórios, de modo a demonstrar o impacto que o parâmetro da velocidade dos veículos tem nesta fase da metodologia.

No geral, através da análise da metodologia desenvolvida e da literatura reunida nesta dissertação, é possível concluir que o fator com maior peso no que toca ao grau de risco de uma travessia pedonal é a velocidade praticada pelos veículos, não só por reduzir bastante os tempos de reação tanto do condutor como do peão, mas também pelos danos causados em caso de colisão, sendo que o risco de lesões graves ou fatalidade aumenta exponencialmente em relação à velocidade em que o veículo se encontra no momento da colisão.

6.2.Perspetivas Futuras

De forma a dar continuidade e acrescentar valor à metodologia desenvolvida nesta dissertação, seria fundamental aplicá-la num cenário real. Para isso acontecer, antes de se realizar a avaliação *in-situ*, seria importante consultar entidades especializadas em segurança rodoviária, especificamente em travessias pedonais, para confirmar e eventualmente realizar alguns ajustes em certos parâmetros da metodologia, de modo a torna-la o mais infalível e viável possível.

Quanto à aplicação em si, esta teria que ser feita em conjunto com o sistema STAP, adaptando também o sistema à metodologia, ou seja, fazer com que os dados retirados pelo sistema fossem aplicados em tempo real, transmitindo estas informações para uma base de dados que, por sua vez, permita às entidades reguladoras agir consoante os resultados que vão sendo apresentados pelo sistema ao longo da avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2020). *Relatório Anual de Segurança Rodoviária 2019*.
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. (2014). *Guia do Peão*.
- Bandeira, R. J. S. (2019). *Passadeiras de peões de nova geração*. Universidade de Aveiro.
- Basile, O., Persia, L., & Usami, D. S. (2010). *A methodology to assess pedestrian crossing safety*. *European Transport Research Review*, 2 (3), 129-137.
- Bullough, J. D., Zhang, X., Skinner, N. P., & Rea, M. S. (2009). *Design and evaluation of effective crosswalk illumination* (No. FHWA-NJDOT-2009-003). New Jersey. Dept. of Transportation.
- City of Boulder - Transportation Division. (2011). *Pedestrian Crossing Treatment Installation Guidelines*. (November).
- City of Cambridge. (2000). *Cambridge pedestrian plan*.
- Declaração de Retificação nº60-A/2019 de 20 de dezembro da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República n.º 245/2019, 1º Suplemento, Série I de 2019-12-20 Disponível em www.dre.pt
- Decreto-Lei nº163/2006 de 8 de Agosto de 2006 do Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Diário Da República, 1ª Série – Nº152 de 2006-08-08 Disponível em www.dre.pt
- Van Derlofske, J., Boyce, P., & Gilson, C. (2003). *Evaluation of in-pavement, flashing warning lights on pedestrian crosswalk safety*. *IMSA journal*, 41(3), 9-p..
- FHWA, U. (2010). *Manual on uniform traffic control devices* (2009). Baton Rouge: Claitor' s Law Books and Publishing, 137-179.
- Fitzpatrick, K. (2007). *Improving pedestrian safety at unsignalized crossings*. In *TR News*. <https://doi.org/10.17226/13962>
- Gibbons, R. B., Edwards, C. J., Williams, B. M., & Andersen, C. K. (2008). *Informational report on lighting design for midblock crosswalks* (No. FHWA-HRT-08-053). United States. Federal Highway Administration.

- How to Use the HAWK Signal. (2018). Retrieved January 19, 2021, from <https://www.finditinfondren.com/2018/10/19/ummc-hawk/>
- Huang, H., Zegeer, C. V., Nassi, R., & Fairfax, B. (2000). *The effects of innovative pedestrian signs at unsignalized locations: A tale of three treatments* (No. FHWA-RD-00-098). Turner-Fairbank Highway Research Center.
- Hughes, R. G., Huang, H., Zegeer, C. V., & Cynecki, M. J. (2001). *Evaluation of automated pedestrian detection at signalized intersections* (No. FHWA-RD-00-097). United States. Federal Highway Administration.
- ITE Traffic Engineering Council Committee TENC 5A-5, & Zegeer, C. V. (1998). *Design and safety of pedestrian facilities*. The Institute.
- Jain, U., & Rastogi, R. (2016). *Pedestrian crossing warrants - a review of global practices*. *Current Science*, 111(6), 1016–1027. <https://doi.org/10.18520/cs/v111/i6/1016-1027>
- Kannel, E. J., & Jansen, W. (2004). In-pavement pedestrian flasher evaluation: Cedar Rapids, Iowa (No. CTRE Project 03-145.).
- Kutela, B., & Teng, H. (2019). Prediction of drivers and pedestrians' behaviors at signalized mid-block Danish offset crosswalks using Bayesian networks. *Journal of Safety Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.02.008>
- Marques, J. M. S. (2004). *Engenharia de Segurança Rodoviária em Áreas Urbanas: Recomendações e Boas Práticas*.
- Mead, J., Zegeer, C., & Bushell, M. (2014). Evaluation of pedestrian-related roadway measures: A summary of available research. *P a BI Center. Chapel Hill, NC, UNC Highway safety Research Center*, 115.
- Montella, A., & Mauriello, F. (2010). Pedestrian Crosswalks Safety Inspections: Safety Assessment Procedure. In *4th International Symposium on Highway Geometric Design*, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001750>
- Nambisan, S. S., Pulugurtha, S. S., Vasudevan, V., Dangeti, M. R., & Virupaksha, V. (2009). Effectiveness of automatic pedestrian detection device and smart lighting for pedestrian safety. *Transportation Research Record*, (2140), 27–34. <https://doi.org/10.3141/2140-03>
- National Highway Traffic Safety Administration. (2019). *Traffic Safety Facts*. Washington, DC.

- Nitzburg, M., & Knoblauch, R. L. (2001). *An Evaluation of High-Visibility Crosswalk Treatment-Clearwater, Florida* (No. FHWA-RD-00-105). United States. Federal Highway Administration. Office of Safety Research and Development.
- Pedestrian Detection – Elektra. (2016). Retrieved January 18, 2021, from <http://adas.cvc.uab.es/elektra/enigma-portfolio/pedestrian-detection/>
- Seco, Á. J. M., Macedo, J. M. G., & Costa, A. H. P. D. (2008). Manual do planeamento de acessibilidades e transportes. *Porto: CCDRN*.
- Sivak, M., Schoettle, B., & Tsimhoni, O. (2013). *The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America Moon Phases and Nighttime Road Crashes Involving Pedestrians Moon Phases and Nighttime Road Crashes*. 2724, 2–5. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2007.04.02.004>
- Sullivan, J. M., & Flanagan, M. J. (2002). The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4), 487-498.
- Tefft, B. C. (2013). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 871-878.
- Van Houten, R., R. A. Retting, J. Van Houten, C. M. Farmer, and J. E. L. Malenfant. Use of Animation in LED Pedestrian Signals to Improve Pedestrian Safety. *ITE Journal*, Vol. 69, No. 2, 1999, pp. 30-38
- Vasudevan, V., Pulugurtha, S. S., Nambisan, S. S., & Dangeti, M. R. (2011). Effectiveness of signal-based countermeasures for pedestrian safety: Findings from pilot study. *Transportation Research Record*, 2000(2264), 44–53. <https://doi.org/10.3141/2264-06>
- Washington State Department of Transportation. (2018). Enhancement Criteria for Uncontrolled Pedestrian Crossing Locations. (May).
- Zegeer, C. V., Stewart, J. R., Huang, H., & Lagerwey, P. (2001). Safety effects of marked versus unmarked crosswalks at uncontrolled locations: Analysis of pedestrian crashes in 30 cities. *Transportation Research Record*, (1773), 56–64. <https://doi.org/10.3141/1773-07>
- Zegeer, C., Seiderman, C., Lagerwey, P., Cyencki, M., Ronkin, M., & Schneider, R. (2002). *Pedestrian Facilities Users Guide — Providing Safety and Mobility*. diane publishing.