

VELOCIDADE PEDONAL EM ATRAVESSAMENTOS FORMAIS

Ana Bastos Silva¹, Joana Cunha¹, Márcio Ferreira¹, João Pedro Silva²

¹Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

email: abastos@dec.uc.pt http://www.dec.uc.pt

²Instituto Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Campus 2, Morro do Lena – Alto do Vieiro, 2411-901 Leiria, Portugal

Sumário

Os atravessamentos pedonais desempenham um papel relevante no funcionamento e segurança da rede pedonal, uma vez que constituem os pontos de maior interação e conflito entre os peões e os veículos. Um dos parâmetros essenciais ao seu dimensionamento é a velocidade de atravessamento adotada pelo peão. Porém, desconhece-se a existência de estudos nacionais, apesar da lei vigente exigir a adoção de velocidades de dimensionamento extremamente penalizadoras para a gestão do sistema de transportes. Assim, o presente artigo centra-se no estudo da velocidade adotada pelo peão em travessias pedonais, assim como na avaliação do impacto resultante da adoção de valores inadequados.

Palavras-chave: Velocidade Pedonal; Atravessamentos Pedonais; Mobilidade Urbana; Acessibilidade

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, assiste-se, em muitos países, a uma alteração do paradigma da mobilidade urbana, consequência maioritariamente do aumento da consciência ambiental, ao mesmo tempo que se agravam as condições de circulação urbanas. Essa tendência tem vindo a acentuar-se desde a década de 80, através do combate ao uso excessivo do veículo automóvel em meio urbano, ao mesmo tempo que se promovem formas alternativas de deslocação. A circulação pedonal assume-se cada vez mais como um modo de transporte a privilegiar, designadamente nos espaços centrais e nobres seja por razões ambientais, de saúde, de sustentabilidade económica, ou de preservação da qualidade do espaço público. Assume assim cada vez maior relevância entender o comportamento natural do peão, de modo a identificar e promover a adoção de medidas e de políticas específicas ajustadas às necessidades e características prevalentes dos peões [1].

O estudo cuidadoso dos atravessamentos pedonais assume particular relevância já que estes representam os pontos críticos da rede pedonal. Estes concentram a maior parte dos conflitos cuja gravidade depende de diversos fatores, designadamente dos volumes de peões e do tráfego envolvidos, assim como da hierarquia da via atravessada [2].

Das diferentes tipologias de atravessamentos pedonais existentes destacam-se as soluções desniveladas, as passagens de peões com ou sem refúgio central e as soluções semaforizadas. Para o dimensionamento adequado dos atravessamentos importa conhecer devidamente o comportamento do peão, designadamente a velocidade por ele adotada. Esta está diretamente dependente de alguns fatores, tais como, a idade, o género, densidade pedonal, condição física (ex.: peões com mobilidade reduzida), etc. [2].

Esta preocupação tem justificado o desenvolvimento de diversos trabalhos de investigação, com resultados nem sempre consensuais. A literatura da especialidade [3-6] recomenda a adoção da velocidade média de atravessamento de 1,20 m/s (valor equivalente a 4 ft/s). No entanto, no dimensionamento de planos de temporizações semaforizadas, é recomendada a adoção de valores inferiores de modo a atender às necessidades especiais dos utilizadores idosos e com mobilidade reduzida. É recorrente adotar-se o valor de 1,0 m/s como parâmetro dimensional [3-4; 6], sendo que em muitos estudos este valor corresponde ao percentil 15 da velocidade de atravessamento.

Rastogi et.al. [7] observaram valores de velocidade compreendidos entre 0,83 e 1,02 m/s para o percentil 15, recomendando para dimensionamento da infraestrutura o valor de 0,95 m/s ou de 0,79 m/s se a proporção de idosos

for elevada. Por sua vez, Fitzpatrick et al. [8] recomendam a adoção do valor de 1,07 m/s reduzindo para 0,90 m/s na presença de peões idosos ou de mobilidade reduzida. Já em Gates et al. [9] aponta-se para a velocidade média de 1,16 m/s e para o seu abaixamento em função da proporção de peões com mais 65 anos. Tarawneh [10] obteve o valor médio e percentil 15 da velocidade de 1,34 m/s e 1,11 m/s, respetivamente, baixando para 0,97 m/s na presença de idosos.

Em Portugal desconhece-se a existência de estudos sobre esta matéria, apesar da legislação portuguesa em vigor exigir a adoção da velocidade pedonal de 0,4 m/s no dimensionamento de soluções semaforizadas (Decreto-Lei 163/2006). Porém, este valor, tal como apresentado acima, revela-se tendencialmente baixo face às características dos peões com mobilidade normal e extremamente penalizador para a gestão do tráfego automóvel.

No que respeita à ao estudo dos fatores explicativos é igualmente possível identificar um número alargado de estudos. Alguns autores [1; 8-11] encontraram diferenças não negligenciáveis entre as velocidades adotadas pelos peões do género masculino [1,31-1,47m/s] e feminino [1,23-1,40m/s]. Em Knoblauch et al. [12] também se confirma esta tendência, mas apresentam-se os valores de velocidade com o efeito do género combinado com os escalões etários dos adultos e idosos. Assim, para os adultos e idosos do género feminino apontam para valores de 1,46m/s e 1,19 m/s, respetivamente; e para os adultos e idosos do género masculino valores de 1,56 m/s e 1,31 m/s. Segundo Tarawneh [10] e Gates et.al [9] observaram-se diferenças significativas consoante o peão circule isolado ou em grupo. Também a densidade pedonal tende a afetar a velocidade adotada pelo peão [6]. Num estudo realizado numa estação de metro em Xangai [13] identificou-se o carregamento de peso como fator significativo na explicação da velocidade, verificando que os peões tendem a adotar velocidades mais lentas perante o carregamento de pesos. Em Tarawneh [10] e Knoblauch et al. [12] identificou-se o efeito da largura da rua (comprimento de atravessamento) na velocidade de atravessamento. Em Knoblauch et al. [12] identificou-se ainda como relevantes a classificação funcional e o volume de veículos conflituantes.

É ainda curioso constatar que as velocidades médias ou os percentis 15 da velocidade de atravessamento variam de país para país. Na Índia [6], na Jordânia [10], na Austrália [3] e na Tailândia [11] os peões tendem a adotar velocidades de atravessamento mais reduzidas quando comparadas com as praticadas nos EUA [1; 8-9; 12], o que muito provavelmente se relaciona com a estatura.

Contudo continua a justificar-se a realização de estudos que relacionem a velocidade de atravessamento pedonal com cada um desses fatores. Nessa linha de ação, o presente artigo centra-se no estudo da velocidade adotada pelo peão em diversas tipologias de atravessamentos urbanos. Este tipo de informação revela-se central ao dimensionamento da infraestrutura pedonal e crucial à estimação dos comprimentos de fila de espera associados às correntes de tráfego conflituantes. É apresentada, de forma detalhada, a metodologia adotada, quer nas sessões de recolha e tratamento dos dados, quer na análise dos resultados assim como uma avaliação do efeito associado a diversos fatores que influenciam a velocidade de atravessamento. Complementarmente é apresentado um estudo de caso, centrado no desenvolvimento de uma análise de sensibilidade para avaliação do potencial impacto da variação da velocidade pedonal, nos níveis de saturação/tempos de espera, associados a travessias pedonais semaforizadas integradas numa intersecção simples. Os trabalhos foram suportados pela criação de uma base de dados real, assente na observação direta de peões e complementada pela caracterização das correntes de tráfego conflituantes. As análises foram baseadas na aplicação de técnicas estatísticas que permitiram identificar os fatores que se revelaram estatisticamente significativos na explicação da velocidade de atravessamento pedonal.

2 METODOLOGIA ADOTADA

2.1 Variáveis Seleccionadas

As variáveis seleccionadas no âmbito do presente estudo, resultaram da compilação das referências bibliográficas da especialidade [1;3-6; 8; 10; 11;13-14]. Importa no entanto salientar que, em Portugal, qualquer atravessamento pedonal quando formalizado, atribui a prioridade absoluta ao peão, pelo que a seleção das variáveis se baseou neste princípio. Foram consideradas as seguintes variáveis: escalão etário, género, circulação isolada ou em grupo (dimensão do grupo), densidade pedonal, carregamento de peso, existência de separador central, extensão da travessia, largura da faixa de rodagem e velocidade média de circulação dos veículos.

2.2 Seleção dos Locais

A seleção dos locais procurou salvaguardar uma diversidade de situações associadas às tipologias de atravessamento (semaforizada, não semaforizada, em plataforma ou de nível), à existência ou não de botoneira ou de separador central, à extensão da travessia (curta de [0-8m], extensa [9-14m] e muito extensa de [15-19m]), à velocidade dos veículos motorizados na corrente conflituante e a densidade pedonal. Foram selecionadas 7 (sete) passagens pedonais (Fig. 1), todas localizadas em Coimbra: três semaforizadas (Casos 1, 2 e 3), três não semaforizadas (Casos 4, 5 e 6) e uma em plataforma (Caso 7).

Não foi possível contemplar no estudo um atravessamento em plataforma de extensão curta e sem semáforo, pelo facto de a única travessia na cidade Coimbra que reunia essas características apresentar uma procura pedonal extremamente reduzida.

2.3 Recolha, Tratamento e Análise dos Dados

Os trabalhos foram suportados pela criação de uma base de dados real, assente em observações diretas, complementadas pela recolha de imagens vídeo e pelo registo da distribuição de velocidades das correntes tráfego conflituantes, recorrendo a um radar móvel. Todos os dados foram recolhidos sob condições meteorológicas favoráveis, ou seja, sem ocorrência de precipitação e com o pavimento do passeio seco, de modo a evitar incorporar na análise outros efeitos que influenciem a variabilidade dos dados.

Em média, registaram-se 45 minutos de filmagem vídeo em cada local estudado, de modo a permitir observar uma amostra significativa de peões, o que se traduziu em cerca de 80 peões por local. O tratamento da imagem vídeo foi extremamente minucioso, permitindo retirar da imagem um conjunto alargado de informação, designadamente: tempo e número de atravessamentos, o escalão etário, o género, a dimensão do grupo, eventual carregamento (sacos, malas, crianças ao colo, etc.) e densidade pedonal. A densidade pedonal associada a cada atravessamento foi estimada para o instante correspondente ao meio do atravessamento, tendo-se, no cálculo incluído o peão em análise. Na recolha do tempo de atravessamento, considerou-se que o peão inicia o movimento quando pisa a faixa de rodagem junto ao lancil e o termina quando atinge o passeio.

Optou-se por excluir da análise os dados relativos a peões que atravessaram de uma forma informal (por exemplo, diagonal à faixa de rodagem), pararam durante o atravessamento e atravessaram no sinal verde intermitente ou no sinal vermelho para o caso de travessias semaforizadas. No que refere às travessias com separador central, apenas foram considerados para análise os peões que efetuaram a travessia de forma contínua para garantir que a sua velocidade era constante. No entanto, importa referir que os tempos de atravessamento são medidos de uma extremidade da travessia até à outra, pelo que não se descontou o tempo de possíveis abrandamentos no separador central.

Paralelamente recorreu-se à utilização de um radar portátil para aferir a velocidade dos veículos motorizados na aproximação, em condições livres, que conflituam com a travessia em estudo. A recolha da velocidade seguiu um procedimento discreto e aleatório, limitando o registo aos veículos de cor branca e preta, até atingir uma amostra de cerca de 100 veículos por travessia.

A utilização dos equipamentos foi feita de forma oculta (a partir do interior do veículo ou camuflados entre elementos de vegetação), de modo a assegurar que nem os condutores nem os peões os visualizassem e por inerência alterassem o seu comportamento. A análise dos dados foi baseada na aplicação de análises estatísticas que permitiram identificar e avaliar quais os fatores que se revelaram estatisticamente significativos na explicação da velocidade de atravessamento pedonal observada em redes viárias urbanas. Todos os trabalhos foram desenvolvidos com base no *software* da especialidade *Statistica*.

3 IDENTIFICAÇÃO DOS FACTORES QUE AFECTAM A VELOCIDADE PEDONAL

O presente ponto centra-se na caracterização da amostra recolhida e na identificação dos fatores que se revelaram estatisticamente significativos na explicação da velocidade de atravessamento. Por se considerar que o comportamento do peão tende a diferir significativamente consoante o atravessamento seja ou não provido de sistema semafórico, optou-se por segregar a análise em função desta variável. Nesta fase preliminar do trabalho as análises assentaram em análises de regressão estatística simples e múltipla.







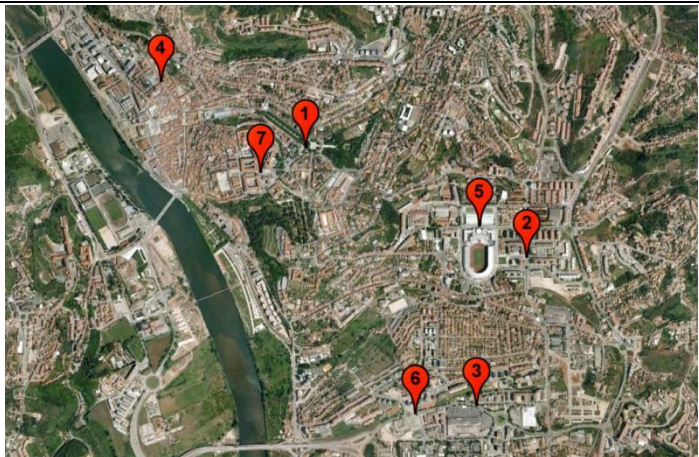

Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2	Estudo de Caso 3
Largura de Rua: 8 metros Semaforizada: Sim Botoneira: Sim N.º de Sentidos: 1 Separador: Não Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim	Largura de Rua: 11 metros Semaforizada: Sim Botoneira: Sim N.º de Sentidos: 2 Separador: Não Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim	Largura de Rua: 19 metros Semaforizada: Sim Botoneira: Sim N.º de Sentidos: 2 Separador: Sim Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim
		
Estudo de Caso 4	Estudo de Caso 5	Estudo de Caso 6
Largura de Rua: 8 metros Semaforizada: Não Botoneira: Não N.º de Sentidos: 1 Separador: Não Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim	Largura de Rua: 10 metros Semaforizada: Não Botoneira: Não N.º de Sentidos: 1 Separador: Não Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim	Largura de Rua: 15 metros Semaforizada: Não Botoneira: Não N.º de Sentidos: 2 Separador: Sim Elevação: Não Lancil rebaixado: Sim
		
Estudo de Caso 7	Localização dos Estudos de Caso (1 a 7)	
Largura de Rua: 15 metros Semaforizada: Não Botoneira: Não N.º de Sentidos: 1 Separador: Não Elevação: Sim Lancil rebaixado: Não		
		

Fig. 1. Localização (Fonte: *Google Earth*), identificação e caracterização das travessias semaforizadas e não semaforizadas (Coimbra)

3.1 Caracterização da Amostra Global

A amostra foi constituída inicialmente por 519 casos, em resultado da visualização das imagens vídeo. Contudo, durante a análise preliminar dos resultados identificou-se a existência de alguns valores extremos, indiciando a presença de *outliers*. Pelo facto de se afastarem em mais de 3 vezes do desvio padrão, optou-se por retirá-los da amostra, reduzindo-se assim a 507 casos de análise. Em termos globais a amostra apresenta as seguintes características base:

- (i) Os escalões etários dos peões jovens [18-24], jovens adultos [25-34] e adultos [35-44] são os mais predominantes, representando 25,4%, 14,0% e 14,2%, respetivamente;
- (ii) A percentagem de peões do género feminino é ligeiramente superior à do masculino, correspondendo aos valores de 54,6% e de 45,4%, respetivamente;
- (iii) Os peões na sua maioria caminham em grupo (55,8%), sendo que 78,8% caminham em grupos de dois, 11,7% em grupos de três e 9,5% em grupos de três ou mais peões;
- (iv) 71,8% dos peões caminham sem carregar qualquer tipo de peso;
- (v) 26,8 % dos atravessamentos correspondem a uma extensão curta, 30,6 % extensa e 42,6 % muito extensa;
- (vi) 74,2 % dos atravessamentos não possuíam separador central;
- (vii) Os atravessamentos não semaforizados representam 63,1 % da amostra.

A Fig. 2 apresenta o histograma da distribuição das velocidades de atravessamento registadas, o qual segue aproximadamente uma distribuição normal simétrica, apontando para uma velocidade de atravessamento média de 1,22 m/s.

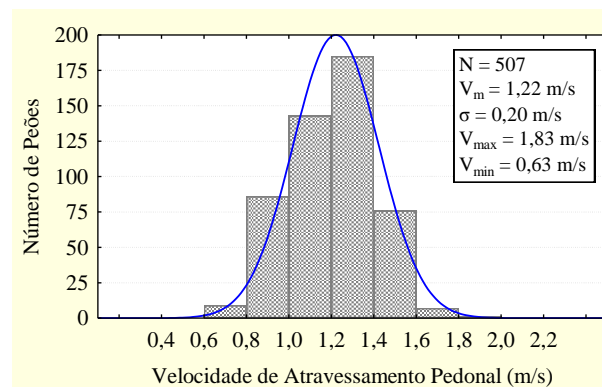


Fig. 2. Histograma da velocidade de atravessamento pedonal

Por sua vez, os percentis 15 e 85 correspondem a velocidades de 1,00 m/s e de 1,43 m/s, respetivamente. Os histogramas da distribuição das velocidades em função da existência ou não de sistema semaforizado apresentam um andamento análogo, apontando para velocidades médias de atravessamento de 1,24 e 1,20 m/s, respetivamente. A caracterização geral da amostra recolhida é apresentada no Quadro 1, nomeadamente os valores de velocidade de média de atravessamento em função das principais variáveis explicativas recolhidas.

3.2 Identificação de fatores explicativos

Este ponto centra-se na identificação de possíveis fatores explicativos, tendo por base a aplicação de técnicas de regressão e testes de hipóteses. Optou-se por segregar a amostra consoante o atravessamento seja provido ou não de sistema semaforizado.

3.2.1 Idade

As capacidades físicas e cognitivas tendem, numa fase jovem, a desenvolver-se e numa fase mais idosa a degradar-se, pelo que é expectável, que o fator idade influencie se revele estatisticamente significativo.

Quadro 1. Resumo estatístico da velocidade de atravessamento versus fatores relevantes para os atravessamentos semaforizados e não semaforizados

Atravessamento Pedonal		Semaforizado						Não semaforizado					
Fator	Nível	N	V _m (m/s)	σ (m/s)	V ₁₅ (m/s)	V ₅₀ (m/s)	V ₈₅ (m/s)	N	V _m (m/s)	σ (m/s)	V ₁₅ (m/s)	V ₅₀ (m/s)	V ₈₅ (m/s)
Idade	<12	8	1,26	0,21	1,06	1,36	1,38	3	1,15	0,09	1,07	1,14	1,25
	[12-17]	16	1,33	0,19	1,14	1,33	1,58	35	1,30	0,18	1,11	1,25	1,43
	[18-24]	42	1,29	0,26	1,14	1,14	1,60	87	1,25	0,16	1,07	1,25	1,43
	[25-34]	24	1,25	0,18	1,10	1,14	1,57	47	1,15	0,23	0,89	1,15	1,36
	[35-44]	26	1,28	0,19	1,06	1,27	1,46	46	1,21	0,19	1,00	1,25	1,36
	[45-54]	20	1,27	0,21	1,03	1,22	1,52	35	1,20	0,17	1,00	1,15	1,36
	[55-64]	19	1,15	0,18	0,92	1,10	1,36	40	1,19	0,15	1,00	1,20	1,36
	≥ 65	32	1,15	0,18	0,95	1,14	1,36	27	1,00	0,18	0,88	1,00	1,15
Género	Feminino	93	1,21	0,20	1,00	1,14	1,38	184	1,21	0,17	1,00	1,25	1,36
	Masculino	94	1,27	0,22	1,06	1,22	1,57	136	1,18	0,22	0,94	1,20	1,36
Dimensão do grupo	Isolado	99	1,32	0,21	1,10	1,33	1,57	125	1,24	0,19	1,07	1,25	1,43
	Grupo	88	1,16	0,18	1,00	1,14	1,36	195	1,17	0,19	0,94	1,15	1,36
	2	79	1,17	0,18	1,00	1,14	1,38	144	1,19	0,19	1,00	1,25	1,36
	3	9	1,14	0,00	1,14	1,14	1,14	24	1,19	0,19	1,00	1,18	1,36
	>3	0	–	–	–	–	–	27	1,05	0,15	0,88	1,00	1,25
Carregamento de peso	Não carregado	133	1,23	0,21	1,00	1,14	1,46	231	1,20	0,20	1,00	1,25	1,43
	Carregado	54	1,27	0,21	1,10	1,24	1,57	89	1,18	0,17	1,00	1,15	1,33
Extensão da travessia	Curta	60	1,19	0,18	1,14	1,14	1,33	76	1,17	0,24	0,89	1,14	1,33
	Extensa	74	1,23	0,22	1,00	1,22	1,57	81	1,28	0,17	1,11	1,25	1,43
	Muito Extensa	53	1,33	0,21	1,06	1,36	1,58	163	1,17	0,17	1,00	1,25	1,36
Separador central	Com separador	53	1,33	0,21	1,06	1,36	1,58	78	1,20	0,14	1,07	1,25	1,36
	Sem separador	134	1,21	0,20	1,00	1,14	1,38	242	1,20	0,21	1,00	1,25	1,43
Amostra Global		187	1,24	0,21	1,06	1,22	1,46	320	1,20	0,20	1,00	1,25	1,36

A análise do Quadro 1 mostra que, em termos médios, os resultados são semelhantes para a situação com e sem sistema semaforizado. Já a análise detalhada da distribuição das velocidades mostra algumas diferenças comportamentais nestas duas tipologias de atravessamento (Fig. 3). Quando provido de sistema semaforizado, o andamento da curva responde ao expectável, verificando-se um aumento da velocidade média nos segmentos jovens e uma diminuição nos escalões de peões idosos (Fig. 3 (a)). No caso das travessias não semaforizadas o comportamento é mais inconsistente, mantendo-se no entanto as mesmas tendências gerais (Fig. 3 (b)). É ainda de registar o facto dos jovens [12-17] serem os mais rápidos independentemente do atravessamento ser ou não semaforizado. A aplicação de técnicas de regressão linear confirmam a existência de uma ligeira tendência decrescente da velocidade pedonal de atravessamento com o aumento da idade, quer para atravessamentos semaforizados ($r^2=0,0607$) quer para atravessamentos não semaforizados ($r^2=0,0800$). O ajuste de uma relação não linear (polinomial do 3º grau) à amostra permitiu melhorar muito ligeiramente o grau de ajuste nos atravessamentos com ($r^2=0,0694$) e ou sem semaforizados ($r^2=0,1000$) o que poderá indicar a existência de múltiplos fatores explicativos.

Estes resultados confirmam os apresentados noutras referências da especialidade [1; 8-10;12], os quais identificam os peões idosos como os mais lentos. Salienta-se ainda a proximidade dos resultados obtidos para os peões idosos, relativamente aos indicados no estado da arte. Verifica-se ainda que os peões em Portugal tendem a adotar velocidades mais reduzidas quando comparados com os registados nos Estados Unidos da América, o que provavelmente poderá estar relacionado com a diferença de estatura.

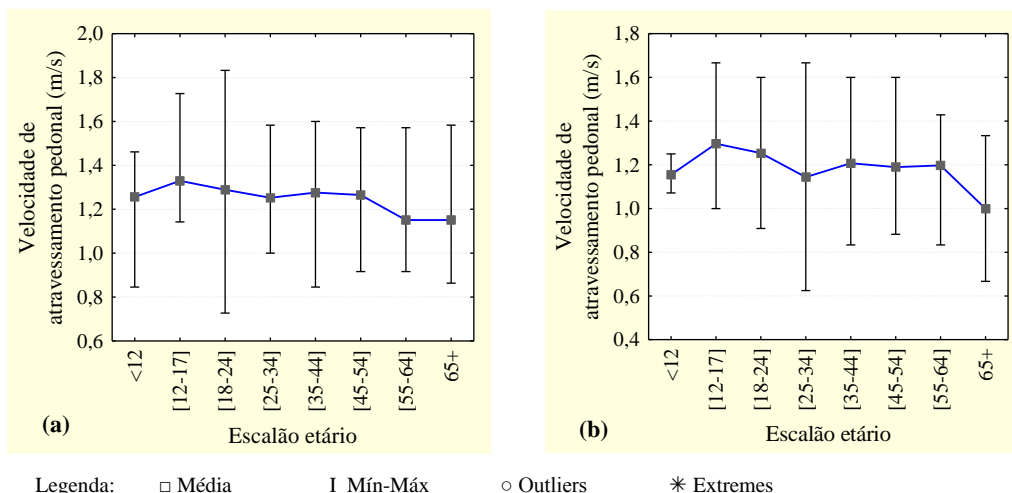


Fig. 3. Diagrama de extremos e média: velocidade de atravessamento pedonal versus escalão etário, para as interseções (a) semaforizadas e (b) não semaforizada

3.2.2 Género

À semelhança de outros estudos [1;8-11], verificou-se que, em atravessamentos semaforizados os peões do género masculino tendem a ser ligeiramente mais rápidos que os do género feminino (Quadro 1 e Fig. 4).

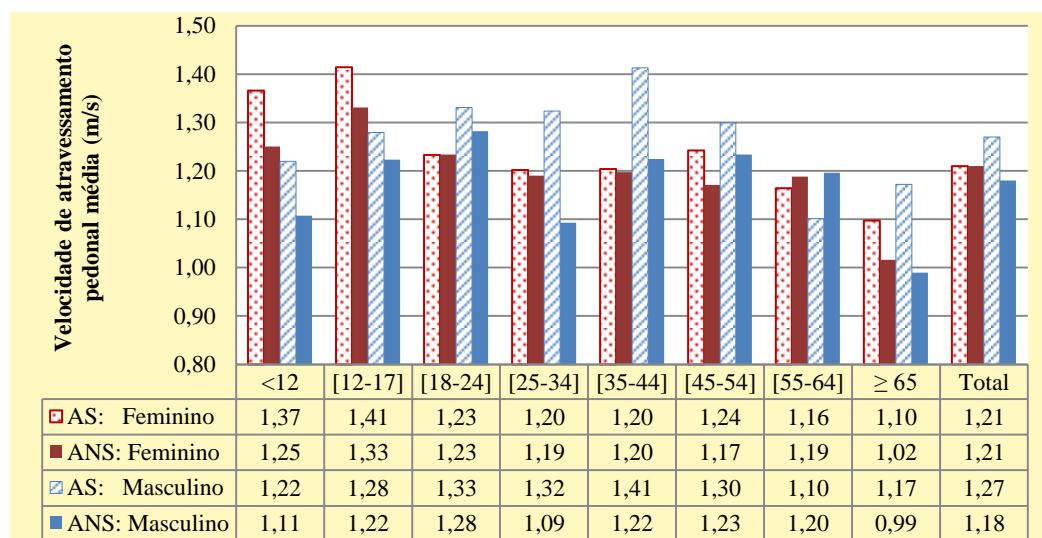


Fig. 4. Velocidade de atravessamento pedonal em função do género versus escalão etário para os atravessamentos semaforizados (AS) e não semaforizados (ANS)

Por sua vez, em atravessamentos não semaforizados o género feminino tende a ser o mais rápido. A Fig. 4 confirma essas tendências, sendo igualmente visível que os peões independentemente dos géneros tendem a diminuir a sua velocidade com a idade. A aplicação do teste estatístico de *t-student* ou teste *t* para comparação de média, permitiu concluir que as diferenças registadas entre as velocidades de atravessamento dos dois géneros, não são estatisticamente significativas para um nível de confiança de 95% para atravessamentos com ($p=0,053244$) ou sem semaforização ($p=0,161996$).

3.2.3 Densidade Pedonal

É expectável que com o aumento da densidade pedonal a velocidade de atravessamento pedonal diminua, uma vez que o espaço útil por peão diminuiu e portanto aumenta o nível de perturbação entre peões em circulação [6].

Contudo, as correlações encontradas são praticamente negligenciáveis ($r^2=0,0062$), independentemente da existência ou não de sistemas semaforizados. Esse efeito é particularmente visível na Fig. 5, através do elevado grau de dispersão. Importa, no entanto, ter presente que a maioria dos valores observados correspondem a densidades pedonais extremamente baixas (correspondentes a um nível serviço B – TRB, 2010), o que limita substancialmente esta análise e por sua vez a robustez e generalização dos resultados (Fig. 5).

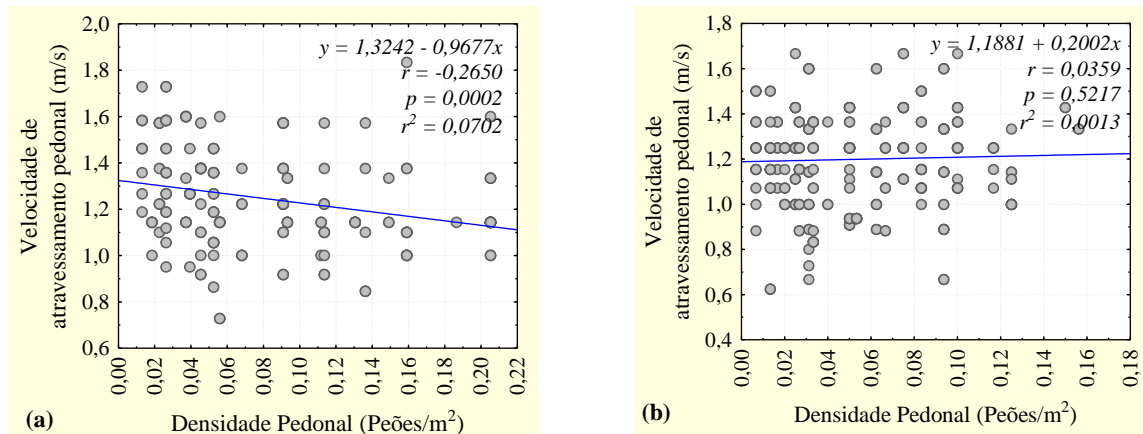


Fig. 5. Efeito da densidade pedonal na velocidade de atravessamento do peão para as travessias (a) com e (b) sem temporizações semafóricas

3.2.4 Circulação Isolada ou em Grupo

Os resultados relativos à análise do efeito do caminhar em grupo evidenciam que o peão quando circula isoladamente tende a caminhar mais rápido do que quando acompanhado (Quadro 1), confirmando a tendência observada na bibliografia da especialidade [9-10]. A aplicação do teste t confirma que as diferenças são estatisticamente significativas para um nível de confiança de 95% para ambas as tipologias de atravessamento (com e sem semaforização). A análise da influência da dimensão do grupo permite verificar que à medida que a dimensão do grupo de peões (2, 3 ou mais do que 3 elementos) aumenta a sua velocidade de atravessamento pedonal vai decrescendo para ambas as tipologias de atravessamento (Quadro 1). A aplicação de técnicas de regressão linear confirmam a existência de uma ligeira tendência de correlação e uma ligeira tendência decrescente da velocidade de atravessamento pedonal com o aumento da dimensão do grupo para atravessamentos semaforizados ($r^2=0,1209$) e não semaforizados ($r^2=0,0647$), respetivamente.

3.2.5 Carregamento de Peso

O efeito do carregamento de peso na velocidade de atravessamento não se revelou estatisticamente significativo. Apesar disso, verificou-se que, em atravessamentos semaforizados os peões carregados tendem a caminhar mais rápido comparativamente com aqueles que não carregam pesos (Quadro 1). Porém, em atravessamentos não semaforizados são os peões que não carregam pesos que tendem a adotar velocidades superiores (Quadro 1). Esta tendência de diminuição da velocidade com o carregamento de peso verificada nos atravessamentos pedonais não semaforizados confirma os resultados obtidos em Ye et al. [13]. A aplicação do teste t confirma que os resultados não são estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95% para atravessamentos semaforizados ($p=0,213274$) e não semaforizados ($p=0,512926$).

3.2.6 Extensão da Travessia

Em geral, a análise da influência da extensão da travessia permitiu verificar que à medida que a extensão aumenta, a velocidade de atravessamento pedonal aumenta igualmente (Quadro 1 e Quadro 2). Tal resultado poderá refletir o aumento de sentimento de exposição ao risco por parte do peão. Embora com valores mais reduzidos esta tendência confirma os resultados patentes na bibliografia da especialidade [10; 12]. Porém, para os atravessamentos não semaforizados, verifica-se que a velocidade tende a diminuir com a diminuição da extensão da travessia. A aplicação de técnicas de regressão linear confirma a existência de uma ligeira tendência crescente da velocidade de atravessamento pedonal com o aumento da extensão da travessia para atravessamentos semaforizados ($r^2=0,0686$), sendo nos atravessamentos não semaforizados negligenciável ($r^2=0,0066$).

Quadro 2. Resumo da relação da extensão da travessia e da largura da faixa de rodagem com a velocidade de atravessamento pedonal e a velocidade de circulação de veículos

Atravessamento Pedonal	Estudo de Caso	Extensão da travessia (m)	Velocidade média de atravessamento pedonal (m/s)	Largura da faixa de rodagem (m)	Velocidade média de circulação dos veículos (km/h)
Semaforizados	1	8	1,19	8	22
	2	11	1,23	11	34
	3	19	1,33	19	48
Não Semaforizados	4	8	1,17	3	20
	5	10	1,28	10	44
	6	15	1,20	7	38
	7	15	1,15	15	22

3.2.7 Existência de Separador Central

A análise do efeito desta variável mostra que, a velocidade de atravessamento em sistemas semaforizados tende a aumentar perante a existência de separador central (Quadro 1). A aplicação do teste *t* a atravessamentos semaforizados confirma que as diferenças são estatisticamente significativas para um nível de confiança de 95% ($p=0,887336$). Este aspeto tende a estar relacionado com o fato do peão procurar aproveitar o tempo de verde para efetuar a travessia numa só fase de atravessamento. Contudo, para as interseções sem semaforização não se revela qualquer alteração do comportamento, sendo que os peões tendem, nesta tipologia de atravessamento, a manter a velocidade de atravessamento (Quadro 1).

3.2.8 Velocidade Média de Circulação dos Veículos

A análise dos resultados evidencia uma tendência de crescimento da velocidade de atravessamento com o aumento da velocidade média do tráfego automóvel que conflitua com a travessia em estudo, independentemente da tipologia de atravessamento ser semaforizada ou não semaforizada (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). É assim de inferir que o sentimento de risco associado à corrente de tráfego se traduz na adoção de velocidades superiores por parte dos peões. A aplicação de técnicas de regressão linear confirma a existência de uma ligeira tendência de correlação embora sem significância estatística ($r^2=0,0669$ para atravessamentos semaforizados e $r^2=0,0513$ para os não semaforizados). Salienta-se ainda a existência de uma relação direta entre o aumento da velocidade média de circulação dos veículos e o aumento da largura da faixa de rodagem (Quadro 2), particularmente nos atravessamentos semaforizados ($r^2=0,9504$).

3.2.9 Considerações Finais

Ao longo deste ponto foi possível concluir que todas as variáveis previamente selecionadas se mostraram estatisticamente significativas, embora com um nível correlação extremamente baixo. Tais resultados indiciam que os trabalhos de modelação devem prosseguir designadamente através da aplicação de análises de variância do tipo ANOVA e MANOVA, assim como de técnicas de regressão múltipla que avaliem o efeito conjunto das variáveis explicativas assim como as interações entre si.

4 AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VELOCIDADE DE ATRAVESSAMENTO NO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Neste sub-ponto procurou-se avaliar a influência da variação da velocidade de atravessamento pedonal no desempenho global de uma intersecção semaforizada simples. Por constituir uma solução comum em Portugal selecionou-se uma intersecção em forma de T (entroncamento) retirada do Manual de Acessibilidades [15], assim como o correspondente faseamento e níveis de procura de tráfego propostos (Fig. 6).

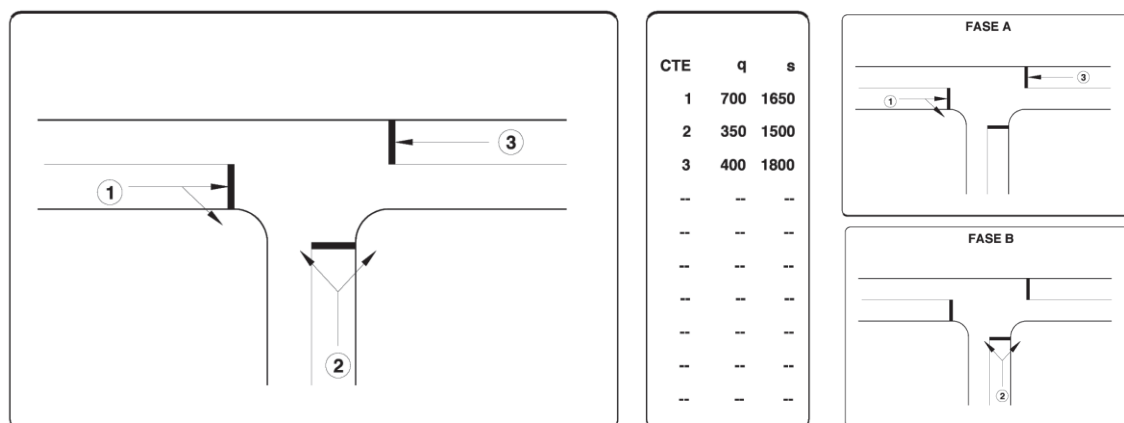


Fig. 6 – Exemplo de aplicação de uma intersecção semaforizada

Considerou-se que a intersecção se situa num local sujeito a níveis significativos de procura pedonal e com uma elevada representatividade de peões vulneráveis (crianças, idosos, etc.). Assim considerou-se que a inclusão das travessias com oposição de movimentos veiculares era inadequada do ponto de vista da segurança, pelo que se optou por criar uma *fase C* complementar para atravessamentos pedonais nos dois ramos. Por outro lado esta solução permite evidenciar de forma direta o impacto associado à velocidade pedonal. Considerou-se ainda que ambos os ramos intersectados disponibilizam 7 metros de largura e que o tempo de amarelo e tudo vermelho é de 3 e 2 segundos, respetivamente. Optou-se ainda por admitir o ciclo máximo de 130 segundos.

Importa desde logo ter noção que a criação da fase de atravessamento pedonal, apesar de favorável à segurança dos peões, se traduz num aumento significativo dos tempos perdidos e por inerência do ciclo e das correspondentes demoras médias por veículo. Contudo, e para os níveis de procura em causa, verificou-se existir reserva de capacidade compatível com a criação desta fase complementar.

Apesar dos resultados serem específicos deste cruzamento as tendências gerais encontradas são perfeitamente válidas e generalizáveis em termos relativos. As Fig. 7 a e b confirmam o expectável, evidenciando o aumento do tempo perdido à medida que diminui a velocidade de atravessamento e, por consequência, o aumento do ciclo. É ainda evidente a alteração do andamento da curva quando é atingido o ciclo máximo.

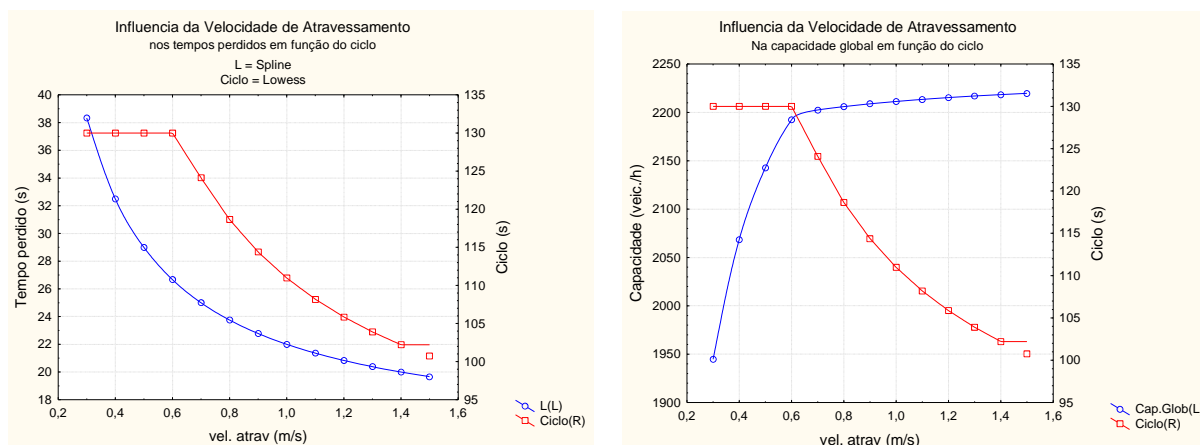


Fig. 7 - Influência da Velocidade de Atravessamento no ciclo a) no tempo perdido; b) na capacidade

Por sua vez a Fig. 7_b mostra a tendência de crescimento da capacidade global do cruzamento com o aumento da velocidade pedonal considerada. Contudo quando atingido o ciclo máximo, esse aumento passa a ser praticamente negligenciável. A análise da Fig. 8_a mostra a tendência de aumento da taxa de saturação máxima ($x_{máx}$) à medida que diminui a velocidade de atravessamento pedonal, sendo esse aumento praticamente exponencial a partir do momento em que é atingido o ciclo máximo. Também as demoras médias por veículo aumentam consideravelmente, tendo-se obtido neste exemplo aumentos de 40% quando a velocidade diminui de 1,2 para 0,4 m/s.

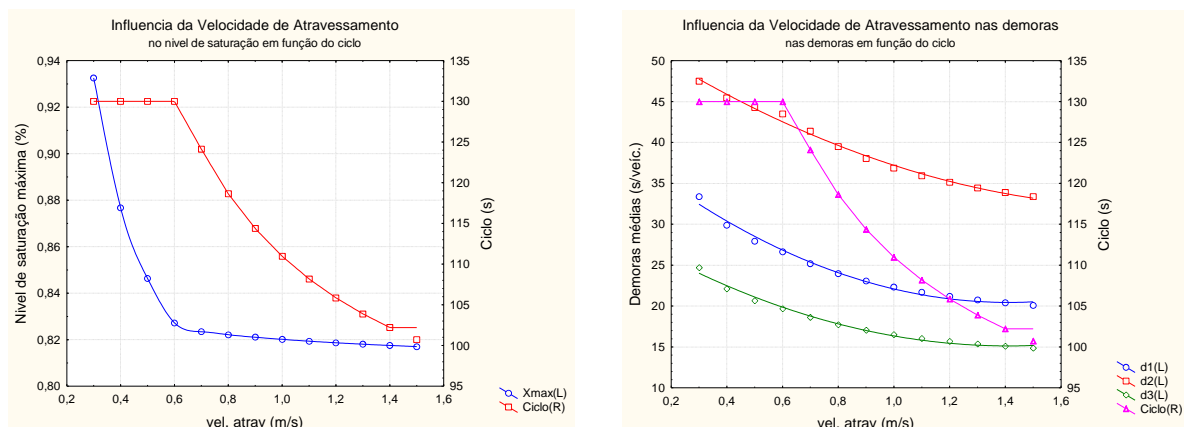


Fig. 8 - Influência da Velocidade de Atravessamento no ciclo e a) nível de saturação; b) na demora média

Esta análise mostra claramente o impacto que este parâmetro assume em termos de dimensionamento de uma intersecção, podendo esta influência aumentar consideravelmente sempre que aumenta o comprimento da travessia (largura das vias atravessadas) e o nível de saturação da intersecção. O exemplo de aplicação considerado, apesar de salvaguardar uma reserva elevada de capacidade, atingiu o seu limiar de saturação para a velocidade mínima pedonal de 0,6 m/s, pelo que a redução desse valor se traduz num acréscimo das demoras e por consequência do tempo de percurso, tendo consequências significativas quer em termos económicos quer ambientais.

Esta análise mostra as consequências da inadequação do valor imposto pela lei vigente em Portugal, sendo premente a sua reavaliação à luz da experiência e investigação científica nacional e estrangeira.

5 CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo confirmam, de forma geral, os resultados patentes na bibliografia da especialidade, apontando para velocidades médias de atravessamento de 1,22 m/s, com mínimo de 0,63 m/s e um máximo de 1,83 m/s. Verificou-se ainda que, de forma geral, os resultados diferem consoante o atravessamento seja ou não provido de sistema semaforizado (1,24 m/s e 1,20 m/s), sendo em geral registadas velocidades ligeiramente superiores nas travessias semaforizadas. Tal efeito poderá estar relacionado com o facto de no momento do atravessamento os peões caminharem o mais rápido possível antes que o sinal mude para vermelho. Salienta-se ainda o facto de os valores de velocidade de atravessamento obtidos para o percentil 15 serem muito aproximados aos recomendados pela bibliografia da especialidade em termos de dimensionamento.

Importa ainda sublinhar que na amostra global recolhida, o valor mínimo de velocidade de atravessamento registado foi de 0,63 m/s, sendo o percentil 15 de 1,0 m/s. Mesmo considerando o escalão etário dos peões idosos, com idades iguais ou superiores a 65 anos, o percentil 15 assume o valor de 0,95 m/s e de 0,88 m/s para travessias com e sem sistemas semaforizados, respetivamente. Este facto evidencia o desajuste da legislação portuguesa (Decreto-Lei 163/2006) em relação ao valor da velocidade imposta para dimensionamento da infraestrutura pedonal, a qual considera a velocidade de dimensionamento de 0,40 m/s. A análise de sensibilidade desenvolvida evidencia a influência deste parâmetro no desempenho geral de uma intersecção semaforizada. Verificou-se que à medida que a velocidade diminui aumentam consideravelmente os tempos perdidos e por consequência o ciclo. Em consequência e sempre que é atingido o ciclo máximo, verifica-se um aumento muito significativo quer da taxa de saturação máxima quer das demoras médias por veículo, com consequências significativas quer em termos económicos quer ambientais. Estas conclusões evidenciam as consequências da desadequação da legislação em vigor.

Em termos de fatores explicativos, a idade, a circulação isolada ou em grupo (dimensão do grupo) e a velocidade média de circulação dos veículos foram identificadas como as variáveis mais significativas na explicação da velocidade de atravessamento. Por sua vez, a densidade pedonal, a extensão da travessia, a existência de separador central só se revelaram estatisticamente significativas para as travessias semaforizadas. Salienta-se ainda o facto de o género se revelar estatisticamente significativa para os atravessamentos semaforizados.

Estes resultados potenciam a elaboração de recomendações técnicas adequadas ao dimensionamento das várias tipologias de atravessamentos, contribuindo para um melhor conhecimento sobre o impacto que a lei vigente pode

assumir em termos de congestionamento e aumento dos tempos de trajeto/demoras impostas à circulação automóvel conflituante. Estes resultados são igualmente aplicáveis na estimação dos tempos de limpeza associados aos sistemas semafóricos de modo a garantir um atravessamento seguro para qualquer segmento de população, dos comprimentos de fila de espera associados a passagens de peões, e por inerência ao dimensionamento dos comprimentos de armazenamento de veículos a montante dessas travessias.

Numa ótica de promoção da circulação pedonal em meio urbano, os trabalhos de investigação deverão prosseguir no sentido de aumentar a dimensão da amostra de dados, de modo a permitir aumentar a robustez dos resultados, incluir mais variabilidade das tipologias de atravessamento e avaliar a influência de outros fatores, designadamente em termos de densidade pedonal. A aplicação de técnicas de análise de variâncias (ANOVA ou MANOVA) poderá revelar-se útil para testar o efeito dos principais fatores e das interações estabelecidas entre si. Finalmente deverá caminhar-se no sentido de desenvolver um modelo matemático simples capaz de estimar a velocidade de atravessamento pedonal em cada tipologia de atravessamento, tendo por base um conjunto limitado de variáveis explicativas facilmente mensuráveis e que possa servir de ferramenta de apoio a técnicos locais.

REFERÊNCIAS

1. M. M. Ishaque e R. B. Noland, Behavioural Issues in Pedestrian Speed Choice and Street Crossing Behaviour: A Review, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 28(1), 61–85, 2008.
2. M. Ferreira, *Avaliação Multi-Atributo de Atravessamentos Pedonais em Redes Viárias Urbanas*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação. Edição FCTUC, Julho, Coimbra, 2010.
3. Austroads, *Guide to Traffic Engineering Practice. Part 13 – Pedestrians*, Ed. Standards Australia, Sydney, 1995.
4. R. E. Dewar, Driver and Pedestrian Characteristics, In: J. Pline (ed.) *Traffic Engineering Handbook* (4th ed.), Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
5. J. LaPlante e T. P. Kaeser, A History of Pedestrian Signal Walking Speed Assumptions, 3rd *Urban Street Symposium*, Washington D.C., 24-27 June 2007.
6. TRB, *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 2000.
7. R. Rastogi, S. Chandra, J. Vamsheedhar e V. R. Das, Parametric Study of Pedestrians Speeds at Midblock Crossings, *Journal of Urban Planning and Development ASCE*, 137(4), 381-389, 2011.
8. K. Fitzpatrick, M. A. Brewer e S. Turner, Another Look at Pedestrian Walking Speed, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1982, 21–29, 2006.
9. T. J. Gates, D. A. Noyce, A. R. Bill e N. Van Ee, Recommended Walking Speeds for Timing of Pedestrian Clearance Intervals Based on Characteristics of the Pedestrian Population, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1982, 38–47, 2006.
10. M. S. Tarawneh, Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors, *Journal of Safety Research*, 32(2), 229–236, 2001.
11. Y. Tanaboriboon e J. A. Guyano, Analysis of pedestrian movements in Bangkok, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1294, 52-56, 1991.
12. R. L. Knoblauch, M. T. Pietrucha e M. Nitzburg, Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1538, 27–38, 1996.
13. J. Ye, X. Chen e N. Jian, Impact Analysis of Luggage-Carrying on Pedestrian Traffic, *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, Washington D.C., 22-25 January 2012.
14. J. Arango e J. Montufar, Walking Speed of Older Pedestrians Who Use Canes or Walkers for Mobility, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2073, 79–85, 2008.
15. CCDR-N, *Manual de Acessibilidades e da Gestão Viária*, Sinais Luminosos, Vol. 7, Porto, Setembro, 2010.