

# VALIDAÇÃO DE DOIS CENÁRIOS PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DE PEÕES EM AMBIENTE VIRTUAL

Francisco Soares<sup>1</sup>, Domien Willems<sup>2</sup>, João Lamas<sup>3</sup>, Emanuel Silva<sup>4</sup>, Elisabete Freitas<sup>5</sup> e Jorge Santos<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>2</sup>Universidade de Antuérpia, Faculdade de Engenharia Aplicada, 2000 Antuérpia, Bélgica

<sup>3</sup>Centro de Computação Gráfica, Domínio “Percepção, Interação e Usabilidade”, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>4</sup>Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>5</sup>Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

email: [efreitas@civil.uminho.pt](mailto:efreitas@civil.uminho.pt) <http://www.civil.uminho.pt/departamento.php?sm=3>

<sup>6</sup>Universidade do Minho, Escola de Psicologia, Departamento de Psicologia Básica, Centro Algoritmi, Centro de Computação Gráfica, Portugal, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

---

## Sumário

*Dois cenários virtuais foram modelados, com base em duas passagens para peões reais. Foi efetuada a validação destes cenários, comparando valores de tempo até à colisão (TTC) obtidos em experiências virtuais realizadas por 10 participantes, com valores do TTC adquiridos através de gravações vídeo in situ.*

*Verificou-se consistência nas respostas dos participantes em ambos os cenários, assim como semelhança dos valores médios do TTC adquiridos na experiência e em captações de vídeo. Conclui-se que a modelação dos cenários foi bem realizada, o que viabiliza a sua utilização para estudos de comportamento de peões.*

---

**Palavras-chave:** Segurança Pedonal; Comportamento de Peões; Ambientes Virtuais; Interação Peão-Veículo; Análise do Risco.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos tem sido observado um crescimento do número de veículos automóveis em circulação nas estradas portuguesas [1]. Este crescimento leva, por consequência, a um aumento do número de interações entre os diversos utilizadores das estradas, nomeadamente entre veículos e peões, sendo que este tipo de interação se verifica principalmente em passagens para peões. Numa época em que se começa a dar muita importância aos modos de transporte suaves, é necessário criar as melhores condições de segurança para aqueles que são os utilizadores vulneráveis da rede viária, dentro dos quais se deve dar maior ênfase aos peões, pois a eles corresponde uma grande parte do número de mortes nas estradas, devido à sua maior vulnerabilidade [2,3].

Existe atualmente uma grande quantidade de literatura em torno de diversos aspetos da segurança rodoviária, procurando estudar, por exemplo, que variáveis têm influência na tomada de decisão dos peões relativamente ao atravessamento da faixa de rodagem [4–7], fatores humanos relacionados com o comportamento no atravessamento [8–11], ou a possibilidade de treinar peões a tomarem decisões mais cautelosas [12–14].

De acordo com Papadimitriou et al. (2016) [15], os métodos de análise de comportamento de peões podem ser separados em duas categorias: métodos baseados em observações em campo e métodos baseados em questionários.

Segundo Lassarre et al. (2012) [16], a forma mais comum de obter dados relativamente ao comportamento de peões em via pública baseia-se na gravação de vídeos desses mesmos peões. Estas gravações, no entanto, estão limitadas ao campo de visão da câmara utilizada, não sendo possível capturar informações para além desse campo [16]. Outras alternativas, como, por exemplo, seguir o trajeto de peões através de instrumentos GPS, ou utilizando uma câmara de vídeo, possuem as suas próprias limitações, tais como problemas com a exatidão da localização e não disponibilidade de informações relativamente a condições de tráfego no primeiro caso, e problemas práticos na gravação de vídeos em movimento no segundo caso [11]. Por sua vez, e também devido ao perigo inerente à realização de estudos de atravessamento de passagens para peões no mundo real, foram já realizados vários estudos com recurso a simuladores de realidade virtual [12, 17, 18].

A utilização de simuladores para recolha de dados possui diversas vantagens: para além de não colocarem a segurança dos participantes em risco real, possibilitam um maior controlo sobre as condições e tarefas experimentais, e possuem uma melhor relação custo-benefício, devido a não ser necessário construir vários cenários para testar variáveis diferentes, sendo que estes poderão ser dispendiosos ou exigir demasiado tempo na sua construção [19]. De acordo com Cavallo et al. (2016) [17], apesar destas vantagens, os simuladores comuns possuem também diversas desvantagens, tais como oferecerem uma perceção visual distorcida e a ausência de uma conjugação entre as ações e as perceções dos participantes. Devido a isto, defendem os autores, foram desenvolvidos simuladores que permitem colmatar estes problemas. Estes simuladores podem ser divididos em dois tipos: simuladores que utilizam um *head-mounted display* (HMD) ou simuladores que utilizam tecnologia do tipo CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) [17]. Os simuladores com HMD, apesar das suas vantagens e atuais avanços de tecnologia, possuem também fortes aspetos negativos, podendo, por exemplo, deixar os participantes desconfortáveis, desorientados e com os olhos cansados [17]. Por seu turno, simuladores do tipo CAVE permitem uma maior liberdade de movimento aos participantes, não tendo associados os efeitos negativos da utilização de um HMD, utilizando, em alternativa, projetores e um sistema de captura de movimentos para projetar o cenário pretendido e ajustar a perspetiva dessa mesma projeção à localização física do participante, permitindo que estes realizem a ação de atravessamento por si próprios, sem recurso a instrumentos como passadeiras ou joysticks [17]. No entanto, segundo os autores, ainda são raros os simuladores que permitem aos participantes realizar esta ação de atravessamento.

No seu estudo, Stevens & Kincaid (2015) [20] reportam que uma maior capacidade de imersão visual induz uma melhor performance nos participantes, mas também uma maior sensação de presença nos mesmos. De acordo com Witner & Singer (1998), citados por Stevens & Kincaid (2015) [20], presença é definida como “a experiência subjetiva de estar num lugar ou ambiente, mesmo quando se está fisicamente noutro”.

Segundo Papadimitriou et al. (2009) [21], outro método comumente utilizado para analisar o movimento de peões em ambiente urbano é a construção de modelos de simulação. Estes modelos são utilizados numa variedade de contextos, tais como no planeamento urbano, na produção de filmes e jogos e, também, em ciências relacionadas com a segurança rodoviária [22]. Vários destes modelos foram já elaborados e utilizados numa variedade de estudos com diversos objetivos (e.g. [22, 23, 24]), mas, no entanto, estes modelos têm os seus próprios desafios, tais como caracterizar realisticamente o comportamento dos agentes, a sua aparência e diversidade [22]). Vários fatores podem ser incluídos e ajustados de forma a influenciar o comportamento dos agentes modelados, sendo que uma maior quantidade de fatores aumenta o realismo dos comportamentos [24].

O projeto no qual este trabalho se insere, AnPeB (Análise do comportamento de peões com base em ambientes simulados e sua incorporação na modelação de risco) tem como objetivo identificar fatores de risco comportamentais e implementar atributos de comportamentos de peões num ambiente modelador de microssimulação de tráfego, com ênfase no comportamento de atravessamento da faixa de rodagem realizado por peões em passagens sem sinalização luminosa, tendo como base dados recolhidos em campo e também em experiências controladas realizadas em cenários virtuais. O presente trabalho teve como principal objetivo a criação e validação de dois cenários virtuais, validação essa efetuada através da comparação de valores do tempo até à colisão [25] (TTC – “*Time-to-Collision*”) extraídos dos dados obtidos pelos participantes no ambiente virtual com valores do TTC obtidos através de gravações de vídeo. O TTC é uma medida do tempo para que dois veículos, ou dois agentes como peão e um veículo, por exemplo, caso não alterem a trajetória e continuem à mesma velocidade, colidam um com o outro [26]. Quanto menor for o TTC, maior é o risco de ocorrer uma colisão [26, 27, 28].

## 2 DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS VIRTUAIS

### 2.1 Secções de estudo

Duas ruas, uma da cidade de Braga e outra da cidade de Guimarães, foram modeladas em ambiente virtual. Estas ruas foram selecionadas com base em uma análise estatística realizada *à priori* dos acidentes decorridos nelas.

Em Braga foi selecionada a Rua 25 de Abril, que se liga à Avenida da Liberdade, uma das principais ruas da cidade. Esta rua tem apenas um sentido e possui duas vias de tráfego, com passeios e estacionamento localizados paralelamente ambos os lados. O pavimento da estrada é composto por mistura betuminosa até à zona da passagem para peões, e, depois desta, por cubos de granito. Os passeios são pavimentados por calçada portuguesa e os locais de estacionamento com cubos de granito. Esta rua é caracterizada pelo uso do solo misto, sendo uma zona onde existem habitações e estabelecimentos de comércio. Para além disso, nas imediações da passagem para peões selecionada para este estudo, existe uma escola de ensino secundário cuja entrada se encontra a aproximadamente 200 metros da mesma.

Em Guimarães foi selecionada a rua Teixeira de Pascoais. Esta rua tem dois sentidos, uma via de tráfego por cada sentido e pavimento em mistura betuminosa, estacionamento em espinha com pavimento em cubos de granito e passeios em ambos os lados em blocos de cimento. Esta rua é caracterizada pelo uso do solo misto, com habitações, estabelecimentos comerciais e serviços e ainda uma escola de ensino básico localizada a cerca de 100 metros da passagem para peões selecionada.

### 2.2 Modelação dos cenários

O processo de desenvolvimento foi semelhante para ambas as secções de estudo. Em primeiro lugar, foram efetuadas medições de dimensões e distâncias dos diferentes elementos encontrados nas ruas, como por exemplo dimensões das passagens para peões e respetivas marcas, largura das ruas envolventes, largura dos passeios, largura e altura dos lancis, comprimento e largura dos lugares de estacionamento e dimensões das restantes marcas rodoviárias. As medições foram complementadas com outras obtidas através da aplicação *Google Earth Pro* [29], tais como comprimento das ruas e dimensões dos edifícios envolventes.

De seguida foi iniciado o processo de transposição destas medidas para objetos nos cenários virtuais. Estes cenários foram desenvolvidos no *Blender 2.79a* [30], um software de computação gráfica 3D *open-source* que utiliza *Python* como linguagem de programação. De forma a proporcionar uma experiência realista aos participantes, procurou-se incluir nestes cenários o máximo de detalhes e texturas realistas de pavimentos e edifícios, obtidos com a ajuda de fotos e posterior tratamento com o programa *Adobe Photoshop CC 2015* [31]. Cada cenário foi testado no sistema de projeção tipo CAVE do Centro de Computação Gráfica (CCG) em Guimarães de forma a detetar erros realizados durante o desenvolvimento. O processo de desenvolvimento de cada cenário demorou cerca de um mês a ser concluído (Fig.1).



(a)



(b)

**Fig.1. Exemplo de cenário virtual (a) e real (b)**

### 2.3 Modelação do tráfego rodoviário

Em ambos os cenários, modelou-se um único veículo. Este veículo foi programado para se deslocar de acordo com padrões de movimento previamente definidos, com base em modelos de variação de velocidade dos veículos obtidos dos dados extraídos *in situ*. Foi recolhida informação relativa a 37 conflitos em Braga e 54 em Guimarães, tendo-se registado as trajetórias e velocidades dos veículos e também dos peões intervenientes em cada conflito. Esta recolha de dados foi efetuada com recurso ao programa *Traffic Inteligente*, desenvolvido para a análise automática de imagens de tráfego rodoviário [32, 33].

Desta análise observaram-se três padrões principais de movimento dos veículos:

- 1) o veículo para completamente antes de chegar à passagem para peões, sem que para isso altere a trajetória;
- 2) o veículo abranda antes de chegar à passagem para peões, sem alteração da trajetória e sem parar;
- 3) o veículo mantém a sua trajetória sem qualquer, ou com leve alteração da velocidade (variações de velocidade inferiores a 3 km/h).

Para se implementar o movimento do veículo virtual, teve sempre que lhe ser atribuída uma velocidade inicial, uma velocidade final, uma distância inicial, uma distância final e a equação do modelo linear que definia a variação de velocidade ao longo da aproximação à passagem para peões. Desta forma, para cada padrão de movimento calcularam-se os valores médios (m), máximos (max), mínimos (min) e o desvio padrão (sd) das velocidades e das distâncias dos veículos aos peões no início ( $V_i$  e  $D_i$ ) e no fim ( $V_f$  e  $D_f$ ) da travagem, isto é, para o instante em que a velocidade do veículo foi máxima e mínima no movimento de aproximação à passagem para peões, respetivamente. As velocidades médias dos veículos com um movimento contínuo e aproximadamente uniforme foram também registadas (Quadro 1), de forma a se assumirem as condições a implementar no processo experimental.

Quadro 1. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão das velocidades dos veículos e das distâncias aos peões por padrão de movimento

	Paragem				Abrandamento				Contínuo
	$V_i$ (km/h)	$D_i$ (m)	$V_f$ (km/h)	$D_f$ (m)	$V_i$ (km/h)	$D_i$ (m)	$V_f$ (km/h)	$D_f$ (m)	V (km/h)
m	17,30	15,80	0	5,71	21,34	16,72	7,24	7,01	25,91
sd	8,15	5,62	0	2,40	8,46	6,20	6,56	4,14	7,87
max	34,41	27,37	0	14,06	37,59	28,20	28,39	22,04	45
min	3,81	6,58	0	1,26	4,43	2,94	1,07	2,69	15

Para a implementar o movimento do veículo teve sempre que lhe ser atribuído uma velocidade inicial, uma velocidade final, uma distância inicial, uma distância final, a equação do modelo linear que definia a sua variação de velocidade ao longo da aproximação da passagem para peões. A definição das condições do movimento dos veículos implementadas nos cenários virtuais e apresentadas no Quadro 2 teve em conta os seguintes pressupostos e/ou critérios:

- Um grande número de condições de velocidade e distância a retratar levaria à realização de experiências com uma elevada duração que, por sua vez, poderiam levar ao enviesamento dos resultados devido ao cansaço dos participantes;
- Uma vez que as secções de estudo selecionadas constituem zonas centrais das cidades de Braga e Guimarães com uso do solo misto e elevados volumes de tráfego pedonal, tendo em conta os valores médios e de desvios padrão obtidos para as velocidades, não se consideraram velocidades superiores a 30 km/h;
- Para a seleção das condições respeitantes ao movimento de paragem e de abrandamento, a variabilidade da aceleração média do veículo teve um peso significativo.

Quadro 2. Características do movimento do veículo a implementar nos cenários virtuais

Paragem				Abrandamento				Contínuo
V <sub>i</sub> (km/h)	D <sub>i</sub> (m)	V <sub>f</sub> (km/h)	D <sub>f</sub> (m)	V <sub>i</sub> (km/h)	D <sub>i</sub> (m)	V <sub>f</sub> (km/h)	D <sub>f</sub> (m)	V (km/h)
20	15	0	5,500	30	10	20	5,500	20
30	15	0	5,500	30	10	10	5,500	30

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Participantes

Para esta experiência, foram recrutados na Universidade do Minho 10 participantes, com idades entre os 21 e 28 anos ( $m = 23$ ,  $sd = 1.9$ ), seis homens e quatro mulheres, de várias nacionalidades.

#### 3.2 Experiências em ambiente virtual

##### 3.2.1 Instrumentos

A experiência foi realizada nas instalações do Centro de Computação Gráfica (CCG), numa sala onde se encontra o sistema do tipo CAVE. Este sistema integra uma tela de 9 metros de comprimento, dos quais 8 são utilizados para projeção, realizada através de 3 projetores *DLP Christie Mirage S+4K*, com uma resolução de 1400\*1050 pixels e *frame lock* a 96Hz, localizados por trás da tela. Os 3 projetores têm também capacidade de transmissão em 3D quando emparelhados com óculos *active shutter 3D* que são utilizados pelos participantes. Por trás da tela encontra-se também a estação de controlo e monitorização do espaço, composta por um cluster de 4 computadores, 3 deles encarregues da projeção e o quarto encarregue da sua monitorização. Este sistema utiliza a tecnologia *BlenderVR*, em conjunto com o sistema de captura de movimentos VICON, para proporcionar uma perspetiva realista ao utilizador. A captura de movimentos é realizada localizando-se pontos de captura colocados num *headset* que é também utilizado pelo participante. A localização destes pontos é efetuada através de 11 câmaras infravermelhas do sistema VICON. Durante o decorrer das experiências, a única luz nesta sala provinha dos 3 projetores, da imagem projetada na tela e das luzes infravermelhas das câmaras do sistema VICON. A simulação foi configurada de forma a que o ponto central do mundo virtual do sistema VICON correspondesse a um ponto no final do lancil esquerdo de cada rua. Um rato de computador foi utilizado para os participantes iniciarem os blocos experimentais e para indicarem as suas respostas.

##### 3.2.2 Variáveis

Este estudo foi desenhado de acordo com os seguintes fatores:

- Cenários (2 níveis, intersujeitos): A tarefa foi realizada em 2 cenários diferentes (secção 2);

Quadro 3. Características de cada estímulo apresentado na experiência

Estímulo	Repetições	V <sub>i</sub> (km/h)	V <sub>f</sub> (km/h)	D <sub>i, mov</sub> (m)	D <sub>i</sub> (m)	D <sub>f</sub> (m)
1	5	20	20	35	-	-
2		30	30	35	-	-
3		20	20	30	-	-
4		30	30	30	-	-
5		20	20	25	-	-
6		30	30	25	-	-
7		30	20	30	10	5,5
8		30	10	30	10	5,5
9		20	0	30	15	5,5
10		30	0	30	15	5,5

- Padrão de movimento do veículo (10 níveis, intersujeitos): Os padrões de movimento do veículo utilizados na experiência de validação são apresentados no Quadro 3. Estes padrões foram definidos de acordo com a velocidade inicial ( $V_i$ ), velocidade final ( $V_f$ ), distância inicial do movimento do veículo ( $D_i$ , mov), distância inicial de travagem ( $D_i$ ) e distância final de travagem ( $D_f$ ) do veículo. As distâncias foram definidas em relação à origem do cenário virtual no Blender (centro da passagem para peões). Cada estímulo foi repetido 5 vezes em cada cenário. O movimento do veículo, excluindo os casos em que o carro parava, acabaram 5 metros após a passagem para peões. Um intervalo de 2 segundos foi inserido entre o final de um estímulo e o início do seguinte.

Como indicadores de comportamento foram considerados:

- Tempo até à colisão (TTC): a distância e velocidade do veículo foram registadas no momento em que os participantes indicaram intenção de atravessar a via. A partir destes dados foi calculado o TTC para esse mesmo instante nos estímulos em que o participante indicou atravessar a via. Em estímulos em que essa indicação não ocorreu, assumiu-se que os participantes atravessariam após a passagem do veículo, não sendo considerado nenhum conflito entre veículo e participante. Devido ao facto de, nesta experiência, os participantes terem apenas que indicar o instante que iniciavam o seu atravessamento, não se movimentando, o TTC baseia-se apenas no movimento do veículo. Por ser um indicador calculado com base em duas variáveis que em conjunto funcionam como pista no processo de tomada de decisão de atravessamento por parte dos peões [34], utiliza-se o TTC para fazer uma comparação dos dados obtidos em ambiente real e em ambiente virtual;

- Percentagem de atravessamentos (intersujeitos): a percentagem de atravessamentos foi calculada para cada participante em ambos os cenários.

### 3.2.3 Design experimental

Cada participante realizou uma sessão experimental composta por 3 blocos: 1 bloco de treino na Rua 25 de Abril, 1 bloco experimental na Rua 25 de Abril, e 1 bloco experimental na Rua Teixeira de Pascoais. A ordem de apresentação destes últimos dois blocos foi alternada entre cada participante. Aos participantes foi dada a tarefa de indicar o momento de tomada de decisão de atravessamento da via, utilizando para isto os botões de um rato. Caso, durante um estímulo, decidissem não atravessar, foi-lhes indicado para não clicarem no rato.

### 3.2.4 Procedimento experimental

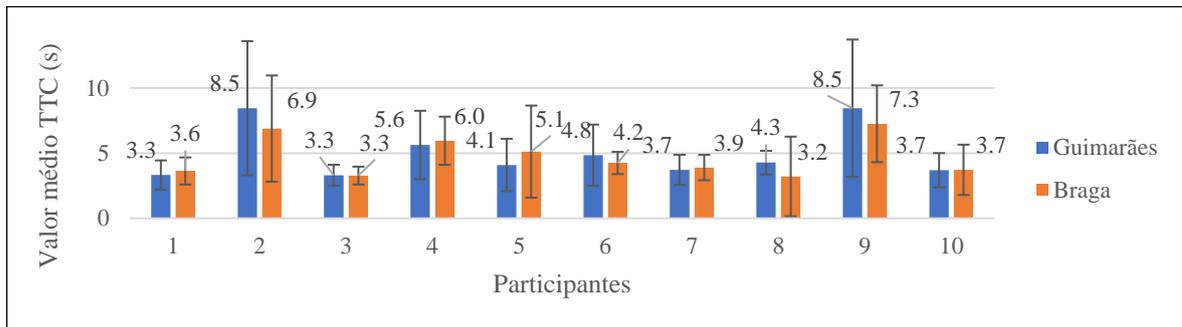
No início da sessão experimental foi pedido aos participantes que colocassem o *headset* e os óculos 3D e, de seguida, foi-lhes apresentado um cenário de treino e dados alguns minutos para se acostumarem ao cenário e à projeção, podendo mover-se pela sala livremente. Quando os participantes informaram estar preparados, foram instruídos quanto à tarefa a realizar e posicionados no local da sala correspondente ao ponto central do mundo virtual do sistema VICON. Após o investigador se deslocar para a estação de controlo, os participantes estavam livres para iniciar o treino, utilizando para isso o botão central do rato. Entre cada bloco, os participantes tinham liberdade para descansar e se deslocar pelo espaço enquanto o próximo bloco era carregado, sendo-lhes pedido para retomarem a posição central antes de iniciarem o bloco seguinte. Cada sessão teve uma duração média de 40 minutos.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

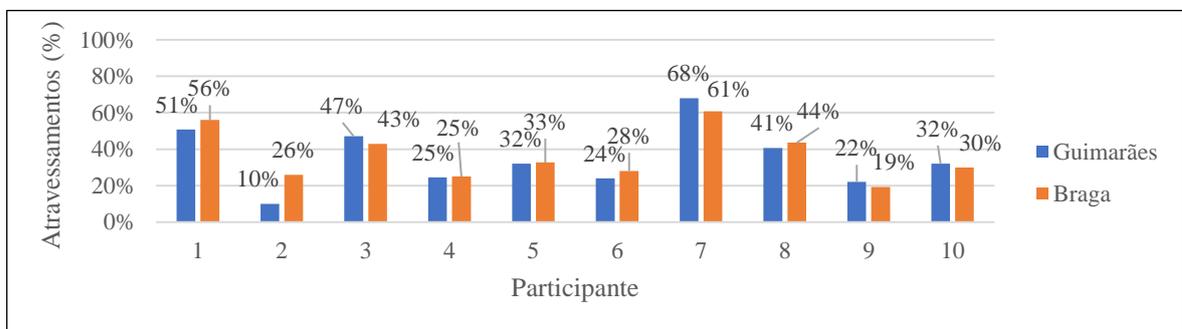
### 4.1 Valor médio TTC e percentagem de atravessamentos

Na Fig.2 encontram-se os valores médios do TTC obtidos por cada participante em ambos os cenários. Verifica-se que os participantes para os quais correspondem valores médios de TTC mais elevados são também aqueles a quem corresponde um maior desvio-padrão, revelando uma maior inconsistência nas suas respostas. Na Fig.3 encontram-se as percentagens de atravessamento de cada participante.

Com base na análise das Fig.2 e Fig.3, é possível observar-se que todos os participantes apresentaram valores consistentes, tanto do TTC como da percentagem de atravessamento, em ambos os cenários. Contudo, é de notar que os participantes 2 e 9 tomaram decisões mais conservativas, pois a eles correspondem maiores valores médios do TTC e menores percentagens de atravessamento.



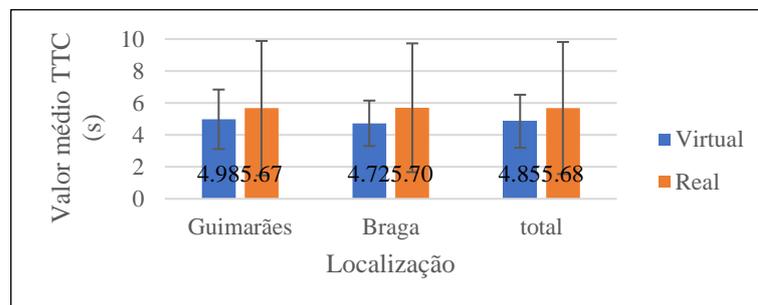
**Fig.2. Valor médio do TTC por participante e por cenário**



**Fig.3. Percentagem de atravessamentos por participante e cenário**

#### 4.2 Comparação do TTC obtido na experiência com TTC obtido através das análises de vídeo

Na Fig.4 encontra-se uma comparação inicial entre os valores médios do TTC agrupados obtidos durante a experiência com ambos os cenários virtuais e os valores médios do TTC obtidos através das análises de todos os conflitos presentes nos vídeos das respetivas ruas. É possível verificar uma diferença de 0,83 s entre os valores médios totais do TTC obtidos nos cenários virtuais e nas secções reais de estudo (4,85 s e 5,68 s, respetivamente).

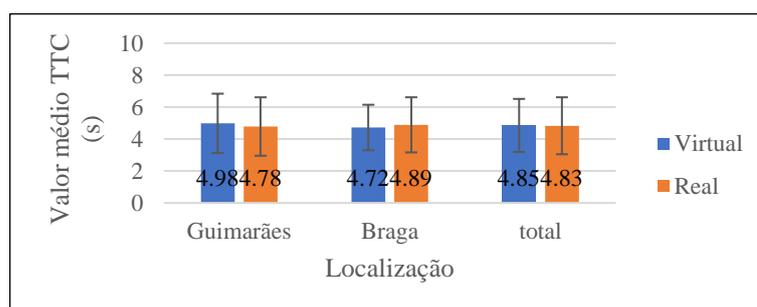


**Fig.4. Comparação entre o valor médio do TTC obtido no simulador com o valor obtido através das análises de vídeo (todos os dados)**

Para além disso, é de notar a existência de uma elevada diferença relativamente ao desvio-padrão de ambas as condições. Relativamente aos dados agrupados totais, obteve-se um desvio-padrão de 1.66 s para os dados dos cenários virtuais, e um desvio-padrão de 4.13 s para os dados das análises de vídeo. Esta diferença deve-se à

presença nos dados extraídos das secções reais de conflitos com veículos com velocidades que não foram controladas como na experiência realizada em ambiente virtual.

Na Fig.5 encontra-se a mesma comparação, mas desta vez sem esses conflitos. Com base nesses dados, constata-se uma maior aproximação entre os dados reais e os obtidos com a realização da experiência, quer em termos dos valores médios como dos respetivos desvios-padrão, sendo o valor médio do TTC total de 4.83 s, com um desvio-padrão de 1.78 s. Desta forma, a maior diferença entre os valores médios do TTC verificou-se no cenário que retratava a Rua Teixeira de Pascoais, em Guimarães, sendo que, mesmo assim, essa diferença foi muito reduzida, correspondendo a 0,2 s.



**Fig.5. Comparação entre o valor médio do TTC obtido no simulador com o valor obtido através das análises de vídeo (dados filtrados)**

## 5 CONCLUSÕES

Sendo a promoção dos modos de transporte suaves em meio urbano uma das prioridades das entidades governativas locais, nomeadamente a promoção do modo de transporte pedonal, é essencial e de elevada urgência tornar os espaços públicos mais favoráveis à realização do ato de caminhar. Um passo importante nesse sentido é a criação de melhores condições de segurança a essa prática, principalmente em zonas onde os conflitos entre peões e o tráfego motorizado existem em maior número. Para tal, conhecer os comportamentos dos peões em zonas onde esses conflitos mais acontecem, nas passagens para peões, e saber o que os pode influenciar é uma fase importante no processo de melhoria das condições que favoreçam esse modo de transporte.

Com a realização deste trabalho, estudou-se a possibilidade de se utilizar uma ferramenta de rara utilização em estudos na área da segurança pedonal. As vantagens do uso de ambientes virtuais para estudar o comportamento dos peões são variadas, mas a que mais se destaca é o controlo das variáveis a considerar em cada estudo. Com os ambientes virtuais, torna-se fácil variar: características referentes ao ambiente construído, como as dimensões das vias, o estado das marcas rodoviárias, as dimensões dos passeios, o tipo de edifícios ou espaços que envolvem a infraestrutura rodoviária, entre muitas outras; e as próprias características do tráfego motorizado, como as velocidades e padrões de aceleração, volumes de tráfego, tipo de veículo, etc.

Tendo em conta os resultados obtidos, conclui-se que o objetivo principal deste trabalho foi atingido, tendo sido criados dois cenários virtuais que permitem a obtenção de dados semelhantes aos dados obtidos no mundo real, em termos da avaliação do TTC. No entanto, este trabalho consiste numa primeira abordagem ao desenvolvimento de cenários e à realização de experiências em ambiente virtual, pelo que carece de alguns aperfeiçoamentos no que diz respeito à tarefa experimental e à análise de resultados. Apesar disso, os participantes constataram verbalmente a qualidade e realismo de cada um dos cenários, assim como a contribuição destas características para o seu conforto durante o decorrer das sessões.

Como trabalho futuro, pretende-se efetuar o mesmo tipo de estudo com uma variedade maior de cenários e desenvolver experiências onde os participantes serão convidados a realizar a tarefa de atravessamento caminhando, de forma a aproximar mais a tarefa experimental da tarefa real. Assim, avaliar-se-á não só o momento da decisão como também toda a interação entre peão e veículo durante o atravessamento da faixa de rodagem de modo a identificar fatores que influenciem a gravidade dos conflitos. Para além disso, será implementada a componente

auditiva relativa ao movimento do veículo em aproximação. Aumentando o número da amostra de resultados, possibilitar-se-á uma comparação mais pormenorizada do TTC tomando em consideração outras variáveis, como, por exemplo, as características referentes ao ambiente construído.

## 6 AGRADECIMENTOS

Este trabalho enquadra-se nas atividades do projeto de investigação AnPeB – Análise do comportamento de peões com base em ambientes simulados e sua incorporação na modelação de risco (PTDC/ECM-TRA/3568/2014), foi financiado no âmbito do projeto Promover a Produção Científica e Desenvolvimento Tecnológico e a Constituição de Redes Temáticas (3599-PPCDT) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER e da bolsa de doutoramento SFRH/BD/131638/2017, financiada pela Fundação para a Ciência e a tecnologia.

## 7 REFERÊNCIAS

1. Associação Automóvel de Portugal (ACAP), Estatísticas do Sector Automóvel, 2017.
2. Autoridade Nacional Segurança Rodoviária, Sinistralidade Rodoviária : Vítimas no local Edição 2017, 2017.
3. European Commission, Traffic Safety Basic Facts on Pedestrians, 2018. [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2018\\_pedestrians.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2018_pedestrians.pdf)
4. Y.C. Liu, Y.C. Tung, Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed, *Saf. Sci.* 63 (2014) 77–82. doi:10.1016/j.ssci.2013.11.002.
5. J. Oxley, M. Lenné, B. Corben, The effect of alcohol impairment on road-crossing behaviour, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 9 (2006) 258–268. doi:10.1016/j.trf.2006.01.004.
6. R. Lobjois, V. Cavallo, Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task, *Accid. Anal. Prev.* 39 (2007) 934–943. doi:10.1016/j.aap.2006.12.013.
7. J.A. Oxley, E. Ihnen, B.N. Fildes, J.L. Charlton, R.H. Day, Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians, *Accid. Anal. Prev.* 37 (2005) 962–971. doi:10.1016/j.aap.2005.04.017.
8. E. Papadimitriou, S. Lassarre, G. Yannis, Human factors of pedestrian walking and crossing behaviour, *Transp. Res. Procedia.* 25 (2017) 2007–2020. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.396.
9. M.A. Granié, M. Pannetier, L. Guého, Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages, *Accid. Anal. Prev.* 50 (2013) 830–839. doi:10.1016/j.aap.2012.07.009.
10. J. Hine, Assessing the impact of traffic on behaviour and perceptions of safety using an in-depth interview technique, *J. Transp. Geogr.* 4 (1996) 179–197. doi:10.1016/0966-6923(96)00003-8.
11. E. Papadimitriou, S. Lassarre, G. Yannis, Introducing human factors in pedestrian crossing behaviour models, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 36 (2016) 69–82. doi:10.1016/j.trf.2015.11.003.
12. A. Meir, T. Oron-Gilad, Y. Parmet, Can child-pedestrians' hazard perception skills be enhanced?, *Accid. Anal. Prev.* 83 (2015) 101–110. doi:10.1016/j.aap.2015.07.006.
13. A. Tolmie, J.A. Thomson, H.C. Foot, K. Whelan, S. Morrison, B. McLaren, The effects of adult guidance and peer discussion on the development of children's representations: Evidence from the training of pedestrian skills, *Br. J. Psychol.* 96 (2005) 181–204. doi:10.1348/000712604X15545.
14. J.A. Thomson, A.K. Tolmie, H.C. Foot, K.M. Whelan, P. Sarvary, S. Morrison, Influence of virtual reality training on the roadside crossing judgments of child pedestrians, *J. Exp. Psychol. Appl.* 11 (2005) 175–186. doi:10.1037/1076-898X.11.3.175.
15. E. Papadimitriou, S. Lassarre, G. Yannis, Pedestrian Risk Taking while Road Crossing: A Comparison of Observed and Declared Behaviour, *Transp. Res. Procedia.* 14 (2016) 4354–4363. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.357.

16. S. Lassarre, E. Bonnet, F. Bodin, E. Papadimitriou, G. Yannis, J. Golias, A GIS-based methodology for identifying pedestrians' crossing patterns, *Comput. Environ. Urban Syst.* 36 (2012) 321–330. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2011.12.005.
17. V. Cavallo, A. Dommès, N.T. Dang, F. Vienne, A street-crossing simulator for studying and training pedestrians, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* (2016). doi:10.1016/j.trf.2017.04.012.
18. G.A. Zito, D. Cazzoli, L. Scheffler, M. Jäger, R.M. Müri, U.P. Mosimann, T. Nyffeler, F.W. Mast, T. Nef, Street crossing behavior in younger and older pedestrians: An eye- and head-tracking study *Psychology, psychiatry and quality of life, BMC Geriatr.* 15 (2015) 1–10. doi:10.1186/s12877-015-0175-0.
19. M.P. Reed, P.A. Green, Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task, *Ergonomics.* 42 (1999) 1015–1037. doi:10.1080/001401399185117.
20. J.A. Stevens, J.P. Kincaid, The Relationship between Presence and Performance in Virtual Simulation Training, *Open J. Model. Simul.* 03 (2015) 41–48. doi:10.4236/ojmsi.2015.32005.
21. E. Papadimitriou, G. Yannis, J. Golias, A critical assessment of pedestrian behaviour models, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 12 (2009) 242–255. doi:10.1016/j.trf.2008.12.004.
22. M. Jaros, M. Di Angelo, P. Ferschlin, Modeling and simulation of pedestrian behaviour: As planning support for building design, 2016 6th Int. Conf. Simul. Model. Methodol. Technol. Appl. (2016) 1–8.
23. M. Iryo-Asano, W.K.M. Alhajyaseen, Modeling pedestrian crossing speed profiles considering speed change behavior for the safety assessment of signalized intersections, *Accid. Anal. Prev.* 108 (2017) 332–342. doi:10.1016/j.aap.2017.08.028.
24. R. Löhner, On the modeling of pedestrian motion, *Appl. Math. Model.* 34 (2010) 366–382. doi:10.1016/j.apm.2009.04.017.
25. Cardoso, J.L., *Aplicação da técnica dos conflitos de tráfego em estudos de segurança rodoviária.* (1º Relatório). 1992, LNEC: Lisboa.
26. J.C. Hayward, Near-miss determination through use of a scale of danger, *Highw. Res. Rec.* 384 (1972) 22–34. doi:TTSC 7115.
27. X. Jiang, W. Wang, K. Bengler, Intercultural Analyses of Time-to-Collision in Vehicle-Pedestrian Conflict on an Urban Midblock Crosswalk, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 16 (2015) 1048–1053. doi:10.1109/TITS.2014.2345555.
28. Johnsson, C., A. Laureshyn, e T. De Ceunynck, In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews.* 38 (2018) 765-785 doi: 10.1080/01441647.2018.1442888.
29. Google LLC, Google Earth Pro (Version 7.3.2.5491) [Computer Software], (2018).
30. Blender Foundation, Blender (Version 2.79a) [Computer Software], (n.d.).
31. Adobe Systems Incorporated, Adobe Photoshop CC 2015 (Version 2015.1.2) [Computer Software], (2015).
32. Jackson, S., L.F. Miranda-Moreno, P. St-Aubin, e N. Saunier, Flexible, Mobile Video Camera System and Open Source Video Analysis Software for Road Safety and Behavioral Analysis. *Transportation Research Record*, 2013. 2365(1): p. 90-98 DOI: <https://doi.org/10.3141/2365-12>.
33. Saunier, N., T. Sayed, e K. Ismail, Large-Scale Automated Analysis of Vehicle Interactions and Collisions. *Transportation Research Record*, 2010. 2147(1): p. 42-50 DOI: <https://doi.org/10.3141/2147-06>.
34. Soares, F., et al. Percepção do risco para peões através do ruído rodoviário. in 8º Congresso Rodoviário Português. 2016. LNEC, Lisboa: Centro Rodoviário Português (CRP).