

## ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS CONFLITOS VEÍCULO-PEÃO COM RECURSO À MICRO SIMULAÇÃO

**Harley Amado**  
**Francisco Soares**  
**Paulo Ribeiro**  
**Elisabete Freitas**

Escola de Engenharia da Universidade do Minho

**José Pedro Tavares**  
**Sara Ferreira**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

### RESUMO

O presente trabalho realiza um análise exploratório dos conflitos entre peões e veículos num atravessamento sem sinalização luminosa, usando o indicador *proxy* de segurança TTC (*time to collision*) como parâmetro principal para a comparação dos resultados dos conflitos observados *in situ* e os modelados. Foi usado o *software* de simulação microscópica (VISSIM) e *software* SSAM (*Surrogate Safety Assessment model*). Para obter a informação no local do comportamento do condutor e o peão antes, durante e depois do atravessamento, usou-se a técnica de observação, a qual consistiu nas filmagens com vídeo camara durante às horas pontas do dia (2 horas). Esta informação foi processada com ajuda do *software* *Traffic Intelligence* para obtenção das trajetórias e velocidades das entidades (peão e veículo) tendo como objetivo o cálculo do TTC observado. Não foi feita uma calibração para o modelo em VISSIM, mas foram usados parâmetros calibrados de outros estudos que apresentaram similitudes nas condições do fluxo veicular, pedonais e geométricas com o local em estudo. Para analisar adaptação dos parâmetros foi usado o índice GEH para verificar que os resultados do modelo estivessem dentro do limiar adequado de aceitação de resultados (menor a 10%, de acordo com a literatura). Apesar da diferença entre o TTC modelado (determinado pelo SSAM) e o observado a qual foi de 54%, este trabalho fornece uma base metodológica para a determinação dos conflitos peão-veículo.

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório mundial de segurança rodoviária do ano 2018, elaborado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o número de mortes causadas por acidentes rodoviários têm vindo aumentar, tendo chegado a 1,35 milhões em 2016, o que se traduziu numa ocorrência média de, aproximadamente, 3700 mortes por dia nas estradas de todo mundo (WHO, 2018). De acordo com as estatísticas dos acidentes rodoviários ocorridos no ano 2016, e segundo a OMS, o peão representou 23% do total de mortes registadas nesse ano (WHO, 2018). Uma das causas deste elevado número a vulnerabilidade associada ao peão em termos de proteção, velocidade e peso em relação ao veículo. No caso específico de Portugal, segundo o relatório anual de sinistralidade rodoviária do ano 2017 da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) (ANSR, 2017), o número de peões vítimas, sejam mortais, feridos graves ou feridos leves, em acidentes rodoviários ocorridos durante o atravessamento da faixa de rodagem em passagens para peões foi de 2307, representando 41% do total de peões acidentados no ano. O conflito entre o peão e o veículo requer uma análise especial para que se possa identificar onde atuar de forma a combater estes números, devendo ser dada particular atenção aos atravessamentos em passagem para peões não sinalizadas, onde a prioridade ao utente mais vulnerável está condicionada pela decisão do condutor.

Um conflito de tráfego é definido como um evento envolvendo dois ou mais utentes da estrada, em que a ação de um dos usuários obriga o outro usuário a realizar uma manobra evasiva para evitar uma colisão (Parker & Zegger, 1989). O conflito peão-veículo caracteriza-se por ter influência de múltiplos fatores, tais como o desenho geométrico da estrada, o comportamento

de peões e condutores, entre outros. Ao longo do tempo, a análise deste tipo de conflitos tem vindo a ser mais explorada no âmbito da investigação da segurança rodoviária. Cynecki (1980), descreveu os conflitos entre peão e veículo salientando as diferenças entre os conflitos veículo-veículo e peão-veículo. Entretanto, Chen et al. (2017) analisou a frequência e severidade da ocorrência de conflitos peão-veículo integrando vários modelos comportamentais (velocidade de rotação, o modelo de aceitação de intervalos entre veículos (*gap acceptance*) e o modelo de comportamento dos peões) numa plataforma de simulação, validando os resultados através de indicadores *proxy* de segurança tais como *post encroachment time* (PET) e *time to collision* – (TTC).

Um método comum de análises dos conflitos de tráfego, seja para um ponto específico da rede ou para uma rede viária é feita através da recolha por observação no local. As desvantagens que este método de análise apresenta é que não se pode determinar antecipadamente possíveis erros ou usos equivocados de medidas de controlo de tráfego que possam aumentar os conflitos, além de que para se é necessária uma quantidade de dados significativos dos locais para ser possível tomar decisões. Consequentemente, nos últimos anos, técnicas de simulação de tráfego microscópico têm sido amplamente utilizadas na área dos transportes para avaliar diferentes estratégias de segurança rodoviária (Alhajyaseen et al., 2012; Cunto, 2008; Wu et al., 2018). A capacidade de analisar a segurança através de modelos de simulação de tráfego foi avaliada em alguns estudos tais como (Davis, Hourdos, Xiong, & Chatterjee, 2011; Young, Sobhani, Lenné, & Sarvi, 2014). Os autores concluíram que com base nas condições gerais do tráfego é possível prever os conflitos e a sua gravidade através do modelo de simulação. Entretanto, Saulino et al. (2015) propôs uma metodologia para prever o número de conflitos por simulação em que neste estudo, o fluxo de veículos e a velocidade de aproximação dos veículos foram fatores importantes para estimar o número de conflitos.

Uma equipa de investigação da Siemens propôs um novo enfoque denominado *Surrogate Safety Assessment model* (SSAM) que foi patrocinada pela FHWA (Federal Highway Administration) (Gettman e Head, 2003). O SSAM utiliza vários algoritmos para identificar conflitos na trajetória de veículos gerados por *softwares* comerciais de simulação microscópica como VISSIM, PARAMICS, AIMSUN e TEXAS. Os indicadores *proxy* de segurança (*surrogate safety measures* - SSM) são utilizados como parâmetros informativos da ocorrência de quase colisão através da medição da proximidade espaço-tempo dos utentes viários (Liu et al., 2017). De acordo com Chen et al. (2019), os SSM mais comuns utilizados para avaliar os conflitos entre peões e veículos são o *time to collision* (TTC) (Hayward, 1972), *post encroachment time* (PET) (Cooper, 1984), *time to zebra* (TTZ) (Varhelyi, 1996), *deceleration-to-safety time* (DST) e *gap time* (GT) (Archer, 2004).

Estudos recentes têm usado a ferramenta SSAM para a identificação dos conflitos entre veículo-veículo e peão-veículo tendo em conta indicadores *proxy* de segurança (SSM). Por exemplo Essa e Sayed (2015), investigaram a transferibilidade dos parâmetros calibrados (desaceleração desejada, fator de redução da distância de segurança fechada para linha de parada, distancia de parada, tempo de avanço, limiares de seguimento positivo e negativo) do modelo de simulação de tráfego (VISSIM) para análise da seguridade entre diferentes sítios. Os resultados mostraram que os parâmetros transferidos do VISSIM poderiam fornecer uma melhor correlação entre os conflitos simulados e os observados do que os parâmetros VISSIM padrão. Os autores salientaram que o uso de micro-simulação para avaliar a segurança sem a calibração adequada do modelo dever ser evitado. São poucos os estudos que tentam estimar os conflitos entre peões

e veículos usando as ferramentas VISSIM e SSAM. Wu et al. (2018), examinaram os parâmetros que permitem definir um conflito peão-veículo e determinaram que os parâmetros ótimos para este análises são o PET e TTC. Além disso, concluíram que o modelo VISSIM pode subestimar o número de conflitos peão-veículo em interseções específicas que envolvem comportamentos ilegal de peões, como o conhecido “jaywalker”, e os que não obedecem ao sinal de *stop* para peões em atravessamentos controlados por sinalização luminosa.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os conflitos resultantes da interação peão-veículo em atravessamentos pedonais não controlados por sinalização luminosa. Para tal, utilizou-se a ferramenta de simulação microscópica VISSIM do grupo PTV e o *software* de análise de conflitos de tráfego SSAM - *Surrogate Safety Assesment Model* que permite identificar, classificar e avaliar os conflitos entre duas entidades neste caso específico peão e veículo. Posteriormente, os resultados da simulação são comparados com dados obtidos na vida real. É importante ressaltar que o presente estudo corresponde a uma análise exploratório da metodologia na medida em que a mesma foi aplicada a um atravessamento, sendo que se pretende dar continuidade ao estudo para um total de 12 atravessamentos com diversas tipologias em duas cidades portuguesas (Braga e Guimarães).

## 2. DESCRIÇÃO DE DADOS

Para a análise de conflitos entre peões e veículos foi selecionada uma passadeira de um atravessamento sem sinalização luminosa na cidade de Guimarães, em Portugal (figura 1), com base nos seguintes critérios: (1) Número de acidentes reportados num período de 5 anos; (2) Volume de tráfego de peões e veículos; (3) Tipologia e características geométricas. Por conseguinte, o arruamento em análise corresponde a um limite de velocidade de 50 [Km/h] para o tráfego motorizado e a sua classificação na hierarquia viária corresponde a uma distribuidora principal. A informação obtida neste local foi utilizada para calibrar e validar as ferramentas de simulação VISSIM e SSAM.



**Figura 1:** Localização e foto do local de estudo.

Para uma correta recolha de dados foi usada a técnica de observação, a qual consistiu na gravação de vídeo da interseção usando uma câmara GOPRO 5 Black com uma resolução de

1920 \* 1080 pixels, a 30 fps. A câmara foi colocada a uma altura acima de 5 metros e entre 15 a 25 metros de distância da passagem para peões. Cada vídeo teve uma duração de aproximadamente 2 horas coincidindo com a hora de ponta da cidade (das 17h00 até às 19h00). Durante as gravações de vídeo, foram realizadas contagens do fluxo de veículos em intervalos de 15 [min] e do número de peões atravessando a faixa de rodagem em intervalos de 5 [min]. Estas contagens tiveram como resultado um fluxo horário de veículo no sentido Norte-Sul de 1386 (veic/h) com uma percentagem de pesados de 2% e no sentido Sul-Norte de 1106 (veic/h) com uma percentagem de pesados de 1%. Para o fluxo pedonal obtiveram-se 361 (ped/h) no sentido Leste-Oeste e 300 (ped/h) no sentido Oeste-Leste. O local de estudo corresponde a uma via de duplo sentido cada uma com uma largura de 3,5 (m) sendo que a passadeira tem uma largura de 5 (m). As dimensões geométricas das passadeiras e da estrada foram medidas através do *Google Earth Pro*.

A análise de vídeo foi realizada utilizando o *software Traffic Intelligence* (Jackson et al., 2013; Saunier et al., 2010). Em suma, para cada gravação foi identificado e mapeado o movimento de cada pixel, *frame a frame*, agrupando-os de acordo com a semelhança das suas características, sendo classificado cada grupo como um objeto (peão ou veículo). Esta análise foi realizada para um número específico da amostra, a qual foi determinada com base nas condições apresentadas em cada local, tendo como máximo um número de 50 peões para a análise. Desta forma foram obtidas as trajetórias e a velocidade dos vários objetos e, com base nestes dados, foi obtido o valor do TTC para cada caso de conflito. As velocidades médias recolhidas em campo para os peões do género masculino e feminino não apresentam uma diferença significativa, isto é, de 1,3 (m/s). Pelo contrário, a diferença é mais significativa quando se compara as velocidades entre grupos etários de cada género. Por exemplo, aos homens com idades entre 20 e 40 anos corresponde uma velocidade média de 1,37 (m/s) enquanto que homens com menos de 20 anos apresentam uma velocidade média de 1,07 (m/s).

Os conflitos entre peões e veículos observados e analisados nos vídeos foram classificados com base no estudo desenvolvido por Wu et al. (2018) o qual determina: conflito tipo (a) (veículo cede passagem ao peão), no momento em que o veículo desacelera para permitir o cruzamento do peão, independentemente se o peão se encontrar ou não na passagem para peões; e o conflito tipo (b) (peão cede ao veículo), que se caracteriza pela chegada do veículo ao ponto de conflito antes do peão. Analisando os dois possíveis tipos de conflito, o tipo de conflito representativo dos atravessamentos em passagens para peões em Portugal é o do tipo (a) veículo cede ao peão, posto que, segundo as regras de trânsito, o veículo deve desacelerar ou parar para dar passagem ao peão sempre que este demonstra a sua intenção de atravessar. Portanto, com base no que foi anteriormente mencionado, o conflito que vai ser analisado neste trabalho é do tipo (a) veículo cede ao peão.

### 3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO VISSIM E SSAM

#### 3.1. Construção do modelo no VISSIM

Para a simulação de peões e veículos foi usado a versão 11 do *software VISSIM* da PTV group. Este *software* permite modelar o comportamento de veículos e peões em ambiente microscópico. O VISSIM usa o modelo de percepção psicofísica desenvolvido por Wiedemann (1974). O conceito básico deste modelo assume que o condutor de um veículo em movimento mais rápido começa a desacelerar quando atinge o seu limiar de percepção individual em relação

a um veículo mais lento (PTV group, 2018). Para a simulação de peões, VISSIM usa o módulo adicional do PTV *Viswalk*, o qual simula o comportamento dos peões baseado no modelo de força social do Prof. Dr. Dirk Helbing, o qual tem em conta as forças sociais, psicológicas e físicas, resultando numa força total que eventualmente resulta em um parâmetro inteiramente físico (PTV group, 2018).

Para se analisar com maior precisão os conflitos que se apresentam no modelo de simulação é necessário primeiro desenhar a rede tentando replicar as condições reais no modelo (dimensões geométricas, obstáculos e demais). O segundo passo consiste em inserir os valores do fluxo pedonal e veicular da rede para a hora de ponta selecionada, sendo que estes valores foram inseridos em intervalos de 15 minutos para ambos. Neste estudo considerou-se como fatores diferenciadores o género e a idade dos peões (a idade foi classificada em 4 grupos, menos de 20 anos, entre os 20 e os 40 anos, entre os 40 e 60 anos e mais do de 60 anos), enquanto que para os veículos distinguiu-se entre ligeiros, autocarros e veículos motorizados de 2 rodas. No último passo define-se as áreas de conflito e os parâmetros que melhor representam o comportamento de interação peão-veículo.

Com o fim de cumprir os objetivos propostos neste estudo, analisou-se alguns parâmetros do modelo VISSIM para garantir que os resultados obtidos sejam similares ao comportamento real no local. É importante sublinhar que esta verificação faz parte do processo geral de calibração do modelo que vai ser desenvolvida na sua totalidade no estudo dos 12 atravessamentos. Os parâmetros que vão ser alvo de verificação são o fluxo de veículos em cada sentido e o fluxo de peões. Para os diferentes parâmetros e submodelos que definem o comportamento dos utentes da estrada (*car following, lane changing, gap acceptance*), foram utilizados os valores por defeito do modelo e em casos especiais usaram-se valores determinados por estudos com similitudes na tipologia de análise. Um exemplo é o modelo de *gap acceptance* onde Wu et al. (2018), no estudo de conflitos entre peão-veículo, concluiu que com um valor de 3 segundos o modelo de VISSIM fornecia os melhores resultados.

### 3.2. Descrição do SSAM

O *software* SSAM - *Surrogate Safety Assesment Model*, funciona com base nos dados que descrevem as trajetórias dos veículos numa determinada infraestrutura rodoviária (por exemplo, uma interseção não sinalizada) e, a partir destas, determina diferentes indicadores de conflitos. O SSAM calcula medidas *proxy* de acidentes para cada interação veículo-peão e avalia, para cada interação se esta, satisfaz ou não os critérios para ser considerada como um conflito (FHWA, 2008). De referir que o SSAM não foi desenvolvido explicitamente para a análise dos conflitos entre veículos e peões, pois o peão não é entidade reconhecida pelo *software* para o cálculo dos conflitos com peões (Wu et al., 2018). Por este facto, se conclui que é necessário simular os peões como veículos no modelo microscópico VISSIM.

Para a análise dos conflitos entre peões e veículos é necessário exportar o ficheiro do SSAM e filtrar os conflitos de acordo com as dimensões das duas entidades analisadas, tendo em conta que o veículo tem uma largura maior e que é de 3,5 [m] e o peão entre 0,41 [m] e 0,46 [m].

Segundo o (FHWA, 2008), a localização atual, a velocidade e a trajetória dos veículos são os parâmetros de base para a estimação do *time to collision* (TTC). Esta medida é calculada para cada intervalo de tempo durante o evento de interação, sendo que finaliza quando o valor do TTC for maior do que o valor limiar definido como crítico. O conflito entre peões e veículos é

diferente entre os conflitos entre veículo-veículo e como tal também o valor crítico do TTC deve ser ajustado a este tipo de conflitos. Com o objetivo de se realizar uma análise exploratório deste tipo de conflito em atravessamentos não sinalizados, considerou-se o valor crítico do TTC de 2,7 [s] de acordo com (Wu et al., 2018). A verificação dos resultados de SSAM vai ser realizada através da comparação entre a média do valor de TTC mínimo modelado e o observado *in situ*.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a verificação dos resultados do modelo, numa primeira fase comparou-se os volumes de tráfego registados em cada saída da rede do modelo (sentido Norte-Sul e Sul-Norte) e os volumes reais observados *in situ*. De notar que apenas se considerou uma iteração para o modelo, pois como foi referido na seção anterior, foram considerados parâmetros já calibrados de outros estudos com características similares ao local de estudo, e como tal a convergência do modelo é atingida mais rapidamente. Para se validar do modelo utilizou-se o índice GEH recomendado por (Vilarinho, 2008).

**Tabela 1:** Comparação entre os dados simulados

Tipo de volume	Sentido	Volume Observado (veic/h)	Volume Modelado (veic/h)	GEH
Veicular	Norte-Sul	1626	1250	9,9
	Sul-Norte	1234	900	10,2
Pedonal	Este-Oeste	361	540	-
	Oeste-Este	300	489	-

Como se pode observar, os valores do GEH embora inferiores a 10%, estão muito próximos de 10 (tabela 1). Consequentemente pode-se aferir a existência de problemas com o modelo, podendo ser a causa os valores de calibração de parâmetros que não se adequem completamente ao local de estudo, sendo portanto recomendável que estes sejam calibrados de outra forma.

Após primeira verificação dos resultados no modelo VISSIM, foi possível obter o ficheiro de trajetórias para ser usado no SSAM com o objetivo de analisar os conflitos gerados no cruzamento. O SSAM permite analisar três tipos de conflitos, aproximação (*rear end*), de mudança (*lane change*) e de atravessamento (*crossing*). Tendo em conta que o objetivo do presente estudo é analisar os conflitos que se apresentam entre o peão e o veículo durante o atravessamento da passadeira, só será tido em conta a análise do conflito tipo *crossing*. O número de total de conflitos que foram identificados através do modelo no SSAM foi de 93 (ver tabela 2). A média do TTC mínimo calculado pelo modelo foi de 1,59 [s] e vai ser alvo de comparação com a média obtida *in situ*.

Com base nas trajetórias e velocidades obtidas na informação recolhida em campo foi selecionada uma amostra e determinado o valor do TTC para cada passo do tempo no momento em que o peão mostra intenção de atravessar. Esta análise foi separada em três fases: antes, durante e depois do atravessamento. Para a determinação do TTC mínimo, o qual corresponde ao intervalo de tempo mínimo antes da ocorrência de uma colisão se os utilizadores da estrada mantiverem as respectivas trajetórias e velocidades (Hayward, 1972; Van der Horst, 1991), foi considerado o movimento do peão e do veículo desde o início do atravessamento do peão até

ao instante em que um dos dois passa o ponto de interseção entre a trajetória do veículo e a do peão, i.e. o ponto de conflito. A amostra considerada é constituída por 50 peões, classificados em género e idade. Para cada peão foi calculado o TTC min ao longo do tempo, a média deste valor é de 3,68 [s] (tabela 2).

**Tabela 2:** Comparação de resultados de conflitos

	In situ	Modelado
Número Total de Conflitos	50	93
Média do TTCmin	3,68	1,68

## 5. CONCLUSÕES

Neste estudo, os dados de campo foram recolhidos para obter o volume de peões, o volume de tráfego, o comportamento dos peões e os conflitos entre veículos e peões num atravessamento sem sinalização luminosa. Os dados de campo foram usados para desenvolver e verificar o modelo em VISSIM. O SSAM foi aplicado para extrair os conflitos peão-veículo através das trajetórias dos mesmos obtidas no modelo de microsimulação VISSIM.

Este estudo permitiu obter algumas considerações importantes para o desenvolvimento da metodologia de análise do conflito peão-veículo em interseções não sinalizadas. Numa primeira fase, foi possível obter valores de parâmetros tais como o *gap acceptance*, o fator de aceleração e desaceleração de veículos, tempo de avanço, entre outros parâmetros que foram calibrados no âmbito de outros estudos e considerados para o modelo VISSIM do presente estudo. Com base nos valores dos referidos parâmetros, obteve-se volumes de veículos modelados similares aos observados no local de acordo como índice GEH. Este passo é importante como base para a calibração dos modelos. Relativamente à análise de conflitos através do SSAM, verificou-se nesta primeira abordagem, uma diferença significativa no cálculo do valor média do TTC min observado *in situ* com o valor modelado. Apesar deste primeiro resultado espera-se que, após a completa calibração e validação do modelo VISSIM, esta diferença entre o observado e o modelado seja atenuada.

De salientar que o presente estudo compreende uma análise exploratória da metodologia que será aplicada para o estudo de conflitos peão-veículo em 12 atravessamentos sem sinalização luminosa. No estudo final será realizada a devida calibração e validação dos modelos no VISSIM, sendo esperado nesse caso que os resultados do SSAM, nomeadamente o valor médio do TTC, sejam similares aos locais em análise.

Contudo, dada a dificuldade de simular o comportamento do veículo e do peão, com todas as suas particularidades, bem como a interação entre os dois, vários estudos deste tipo serão ainda necessários de aplicar de forma a promover o contínuo desenvolvimento de modelos de microsimulação.

### Agradecimentos

O trabalho relatado neste artigo é parte do projeto de investigação AnPeB – Análise do comportamento de peões com base em ambientes simulados e sua incorporação na modelação de risco (PTDC/ECMTRA/3568/2014), financiado por fundos nacionais através da FCT e cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), e da bolsa de doutoramento SFRH/BD/131638/2017 financiada pela FCT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhajyaseen, W. K. M.; M. Asano; e H. Nakamura (2012) *Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections*. IATSS Research, v. 36, n. 1, p. 66–74.
- ANSR (2017). *Relatório Anual Sinistralidade Rodoviária 30 dias*, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Lisboa.
- Archer, J. (2005). *Methods for the assessment and prediction of traffic safety at urban intersections and their application in micro-simulation modelling*. Ph.D. Thesis. Department of Infrastructure, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Chen, P.; W. Zeng e G. Yu (2019). *Assessing right-turning vehicle-pedestrian conflicts at intersections using an integrated microscopic simulation model*. Accident Analysis & Prevention, v. 129, p. 211–224.
- Chen, P.; W. Zeng; G. Yu e Y. Wang (2017). *Surrogate safety analysis of pedestrian-vehicle conflict at intersections using unmanned aerial vehicle videos*. Journal of Advanced Transportation, v. 2017, p. 12.
- Cooper, P. J. (1984). *Experience with traffic conflicts in Canada with emphasis on “post encroachment time” techniques*. In International calibration study of traffic conflict techniques, p. 75–96.
- Cunto, F. (2008). *Assessing safety performance of transportation systems using microscopic simulation*. Ph.D. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Canada.
- Cynecki, M. J. (1980). *Development of a conflicts analysis technique for pedestrian crossings*. Transportation Research Record, v. 743, p. 12–20.
- Davis, G. A.; J. Hourdos; H. Xiong e I. Chatterjee (2011). *Outline for a causal model of traffic conflicts and crashes*. Accident Analysis & Prevention, v. 43, n. 6, p. 1907–1919.
- Essa, M. e T. Sayed (2015). *Transferability of calibrated microsimulation model parameters for safety assessment using simulated conflicts*. Accident Analysis & Prevention, v. 84, p. 41–53.
- FWHA (2008). *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report*, Federal Highway Administration, U.S.A.
- Gettman, D. e L. Head (2003). *Surrogate safety measures from traffic simulation models*. Transportation Research Record, v. 1840, n. 1, p. 104–115.
- Hayward, J. C. (1972). *Near miss determination through use of a scale of danger*. Report TTSC-7115. The Pennsylvania State University.
- Jackson, S.; L. F. Miranda-Moreno; P. St-Aubin e N. Saunier (2013). *Flexible, mobile video camera system and open source video analysis software for road safety and behavioral analysis*. Transportation Research Record, v. 2365, n. 1, p. 90–98.
- Liu, M.; W. Zeng; P. Chen e X. Wu (2017). *A microscopic simulation model for pedestrian-pedestrian and pedestrian-vehicle interactions at crosswalks*. PLoS One, v. 12, n. 7.
- PTV group. (2018). *PTV Vissim 11 User Manual*. PTV group, Germany.
- Saulino, G.; B. Persaud e M. Bassani (2015). *Calibration and application of crash prediction models for safety assessment of roundabouts based on simulated conflicts*. In Proceedings of the 94th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, v. 9, n. 11, p. 11–15.
- Saunier, N.; T. Sayed e K. Ismail (2010). *Large-scale automated analysis of vehicle interactions and collisions*. Transportation Research Record, v. 2147, n. 1, p. 42–50.
- Van der Horst, A. R. A. (1991). *A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters*. Dissertation. Delf University of Technology, The Netherlands.
- Vilarinho, C. A. (2008). *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto, Portugal.
- WHO (2018). *Global status report on road safety 2018*. Genova: World Health Organization.
- Wu, J.; E. Radwan e H. Abou-Senna (2018). *Determination if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections*. Journal of Transportation Safety & Security, v. 10, n. 6, p. 572–585.
- Young, W.; A. Sobhani; M. G. Lenné e M. Sarvi (2014). *Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling*. Accident Analysis & Prevention, v.66, p. 89–103.