

# MICRO-SIMULAÇÃO DE VEÍCULOS E PEÕES NA AVALIAÇÃO DO IMPACTE DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE GRANDE PROCURA EM MEIO URBANO

Telmo Fernandes<sup>1</sup>, André Remédio<sup>2</sup> e Gonçalo Correia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engimind – Consultores em Transportes e Mobilidade, Avenida Marquês de Tomar, nº69, 7º, 1050-154 Lisboa, Portugal.

email: [telmo.fernandes@engimind.com](mailto:telmo.fernandes@engimind.com)      <http://www.engimind.com>

<sup>2</sup> Engimind – Consultores em Transportes e Mobilidade, Avenida Marquês de Tomar, nº69, 7º, 1050-154 Lisboa, Portugal.

<sup>3</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal.

---

## Sumário

*Este trabalho resulta de uma parceria conjunta entre a Engimind e Universidade de Coimbra, no âmbito de uma tese de mestrado com o objectivo de avaliar os impactes causados pela realização de hipotéticos eventos nos centros urbanos. Tendo em conta os inúmeros factores presentes neste tipo de situação, optou-se por recorrer à micro-simulação no sentido de representar a realidade o mais próximo possível, isto é, agente a agente. A representação dos três sistemas (tráfego, transportes colectivos e pedonal) tidos em conta nesta análise foi realizada com base no software de micro-simulação VISSIM (PTV AG).*

---

**Palavras-chave:** Micro-simulação; Modelação; VISSIM.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem sido dada maior importância aos problemas causados pelo aumento da utilização do transporte individual nas áreas urbanas. De modo a estudar esses impactes foram criadas ferramentas informáticas de modelação, nomeadamente a macro-simulação de transportes, que através da consideração das leis de hidrodinâmica, agrupa o tráfego e encara-o como um fluido. Este tipo de simulação é orientada para um planeamento a nível estratégico sobre esses sistemas. Com o passar do tempo, resultante do desenvolvimento das tecnologias foi possível tomar decisões a um nível mais operacional, surgindo assim a micro-simulação, através da qual é possível gerar uma representação agente a agente do sistema de tráfego assim como uma representação mais fiel do ambiente em que estes interagem. Apesar de aumentar a complexidade dos modelos, recentemente foi adicionada a representação do sistema pedonal já que este é de extrema importância para a mobilidade urbana.

Com vista a testar a interacção deste novo sistema com os outros existentes: tráfego, estacionamento e transportes colectivos foi criado um modelo para representar um hipotético evento durante a hora de ponta da tarde num local emblemático da cidade de Coimbra (Portugal). Este foi desenvolvido utilizando a conhecida ferramenta VISSIM (PTV AG). Os objectivos consistiram em estudar a complexidade de representar fielmente todos estes sistemas assim como através do caso de estudo de Coimbra exemplificar como estas técnicas podem ser úteis para a gestão de transportes de uma cidade.

Na secção seguinte apresentamos as bases de modelação inerentes ao modelo de micro-simulação utilizado, seguido pela descrição de todo o processo de concepção do modelo para Coimbra. O artigo continua com a análise de resultados e termina com as principais conclusões a serem retiradas deste trabalho.

## 2 MODELAÇÃO MATEMÁTICA

A micro-simulação é baseada no comportamento individual de cada agente, veículo ou peão, influenciado pela realidade do sistema em que está inserido. O resultado proveniente da simulação é a interação entre todos os agentes presentes no sistema. Logo, para a obtenção de resultados fiáveis é necessário modelar correctamente, não só o comportamento entre agentes, como também o ambiente em que estes estão inseridos (sistema de gestão de tráfego, eventos aleatórios, etc.), tendo neste caso como base a modelação matemática, que não é mais que a aplicação de fórmulas matemáticas no sentido de representar essas interações. Isso afigura uma dificuldade em especial: prever o comportamento dos condutores, mesmo que condicionado pelo sistema real (vias de sentido único, limites de velocidade), torna-se impossível resultante do cariz estocástico das decisões que o agente toma, neste caso o ser humano.

No presente trabalho, o modelo construído, além de conter as enunciadas interações entre agentes próprios de uma micro-simulação, agrega dois sistemas diferentes e apresenta as respectivas interações entre sistemas. Se por um lado temos o *Sistema de Tráfego*, que tem vindo a ser estudado extensivamente ao longo dos últimos anos, por outro temos o *Sistema Pedonal*, a que tem sido dada grande importância nos anos mais recentes.

### 2.1 Sistema de Tráfego

Para este caso, o *software* VISSIM usa um modelo para a representação de tráfego que é discreto, estocástico, baseado em intervalos de tempo e em que a micro-simulação considera todos os agentes individualmente. A sua representação passa pela conjugação de quatro tipos de comportamentos diferentes (comportamento longitudinal, mudança de via, comportamento lateral e comportamento perante sinalização), dando origem ao chamado “comportamento de condução”. De todos eles, o comportamento longitudinal é aquele que toma o papel mais importante na micro-simulação. Este comportamento é baseado em variáveis que dão conhecimento de alterações nas circunstâncias em que o condutor se encontra (diferentes distâncias de segurança, velocidades, acelerações ou desacelerações). Na Fig.1 é apresentado o gráfico que, resumidamente ilustra o modelo seguido pelo *software* na representação do comportamento dos veículos.

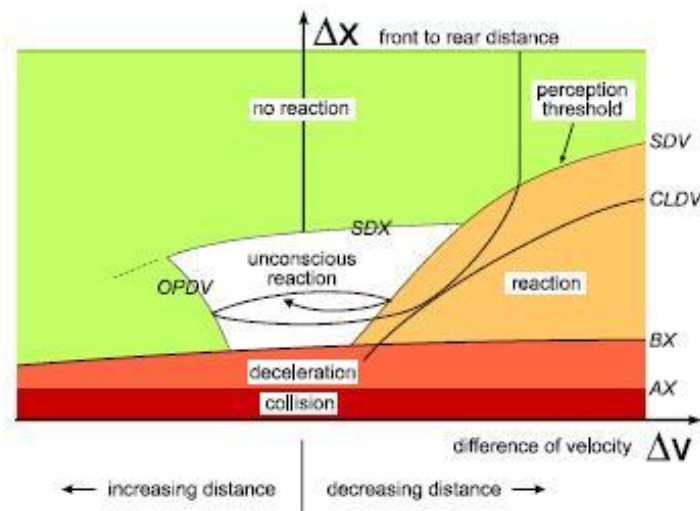
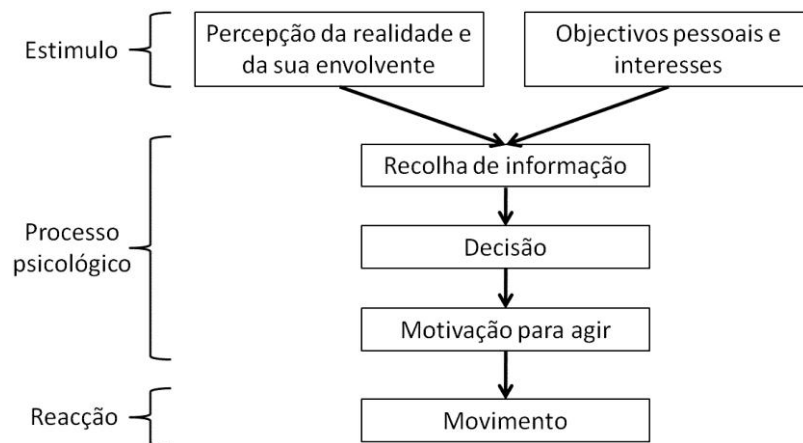


Fig.1. Lógica do comportamento longitudinal (Wiedemann and Reiter, 1992) [1]

### 2.2 Sistema de Pedonal

Os princípios pelos quais funciona o sistema pedonal são certamente diferentes daqueles que compõem o sistema de tráfego. Neste caso a abordagem sugere um comportamento baseado em “forças sociais”, isto é, o agente (neste caso a pessoa) é influenciado por “forças” que não são inteiramente explicadas pelo ambiente que o

rodeia, mas sim também por “motivações interiores” respeitantes a cada indivíduo na realização de determinada tarefa (i.e. movimentos). No entanto, olhando para o comportamento humano pode dizer-se que este é muito difícil de representar devido à sua natureza imprevisível, contudo, nos casos mais usuais existem modelos estocásticos que conseguem representar os comportamentos desde o próprio indivíduo até a um grupo de indivíduos. Na Fig.2 é possível observar de forma simplificada a metodologia seguida pelo modelo adoptado:



**Fig.2. Organograma de funcionamento do *Social Force Model* (Helbing and Molnár, 1995) [2]**

Como consequência desta metodologia, o comportamento pedonal é frequentemente caracterizado através de três níveis hierárquicos. O nível mais elevado é denominado de “nível estratégico”, onde o agente planeia a sua rota para o destino final (em termos temporais as decisões vão de minutos a horas). No nível intermédio situa-se o chamado “nível tático”, onde habitualmente o agente toma decisões em consequência de um evento inesperado na rota delineada (em termos temporais as decisões já são de segundos a minutos) e finalmente o nível inferior apelidado de “nível operacional”, onde é criado o movimento do agente em si, ou seja, evita o contacto com outros agentes (em termos temporais as decisões vão de milissegundo a segundo).

### 3 CONCEPÇÃO DO MODELO – ESTUDO DE CASO

Em relação ao estudo de caso, considerou-se a ocorrência de um hipotético evento na Praça da República, não só por ter uma localização com enorme potencial, devido à sua centralidade e proximidade ao Pólo I da Universidade, mas também por ser um espaço emblemático da cidade de Coimbra. Do ponto de vista científico esta é a etapa mais crítica, pois é onde se constrói, calibra e valida o modelo no sentido de representar o sistema real. Apesar de ter sido seguida uma ordem na construção do modelo em relação às funcionalidades do VISSIM, por vezes foi necessário voltar atrás para realizar ajustamentos, dando um carácter iterativo a esta etapa.

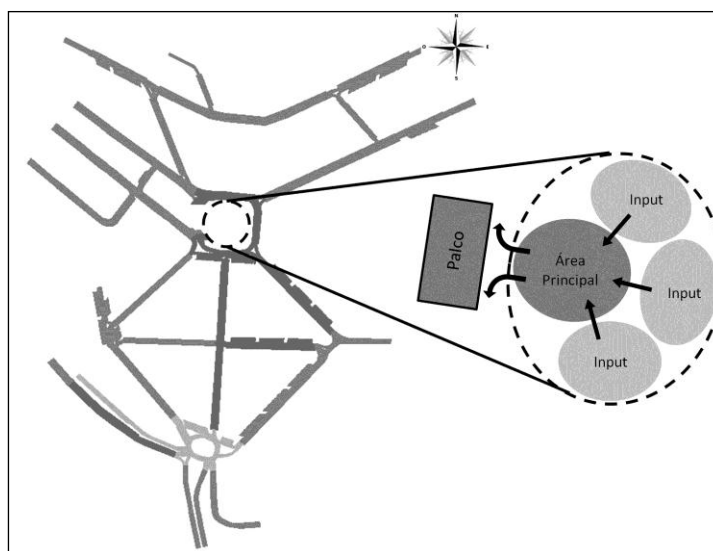
Como em qualquer modelo de micro-simulação, o primeiro passo consistiu em desenhar todos os arcos, conectores, áreas, etc., que constituem a zona de estudo com o auxílio de um *software* de imagens de satélite (*Google Earth*). Ainda na fase de construção, foram definidas as vias BUS, passadeiras e marcas rodoviárias de acordo com a realidade. Tendo as bases do modelo definidas, foi necessário recolher dados da zona de estudo que completassem o mesmo, garantindo dessa forma um maior realismo por parte do modelo.

Os primeiros dados recolhidos foram relativos aos lugares de estacionamento, onde foram observados 763 lugares dos quais apenas 724 foram contabilizados no modelo devido a questões relacionadas exclusivamente com o *software*, isto é, existe uma forte limitação na colocação de lugares de estacionamento nas fronteiras entre arcos e conectores. Os lugares de estacionamento encontram-se divididos por três tipos geométricos diferentes (paralelos, oblíquos e perpendiculares) no sentido de retratar o impacte que um veículo tem na corrente de tráfego quando entra ou sai de cada tipo geométrico de lugar de estacionamento.

De seguida, procedeu-se ao registo das temporizações dos sinais luminosos, observando-se uma relação entre todos os sinais existentes na zona de estudo com um ciclo de 112 segundos. Os volumes de tráfego e pedonais foram obtidos através de contagens na zona em questão durante a hora de ponta da tarde (18h às 19h), sendo essenciais para a construção das matrizes OD utilizadas na definição de rotas (atribuição dinâmica para o sistema de tráfego e rotas estáticas para o sistema pedonal). Após o tratamento de dados, verificou-se uma distribuição do tráfego de 97,9% de veículos ligeiros, 1,5% de motocicletas e 0,6% de veículos pesados. Em relação aos volumes pedonais observou-se um equilíbrio na distribuição entre os peões do sexo masculino e feminino, cerca de 46% e 54%, respectivamente.

Por fim, foram registadas as linhas, ocupações, entradas e saídas de peões de cada autocarro através de uma estratégia de *point check* em todas as paragens existentes na zona de estudo. Para se verificar a proximidade do modelo à realidade, foi realizada uma validação estatística com resultados bastante positivos para ambos os sistemas, com base no indicador “tempo de viagem”.

Estando o modelo construído e validado, o passo seguinte consistiu na representação do hipotético evento, dando assim a possibilidade de se efectuar uma análise aos resultados com base na comparação da situação actual com o cenário de evento. Na Fig.3 é identificado o local onde se realiza o evento e a forma como este é criado, através da existência de três áreas de *input* de peões, que posteriormente se juntam numa área principal, recriando desse modo uma assistência de 1500 pessoas no evento.



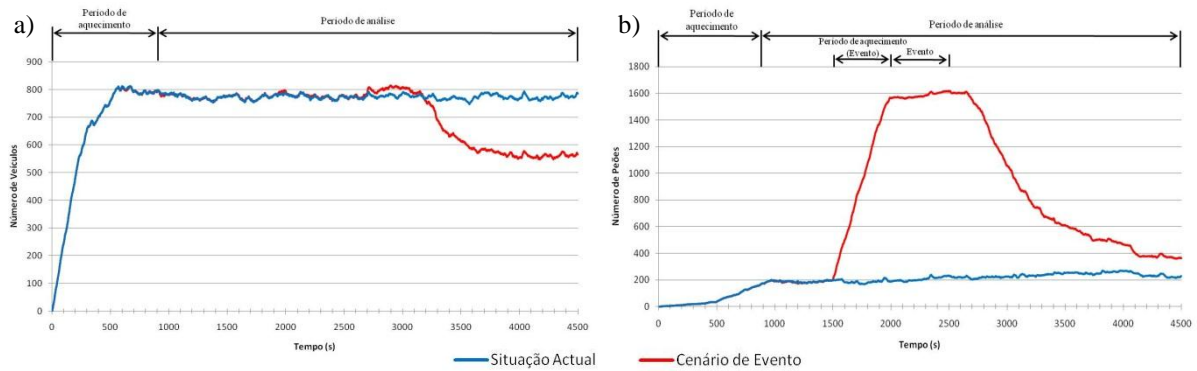
**Fig.3. Localização do evento na zona de estudo**

## 4 RESULTADOS

Com a conclusão da concepção do modelo, composto por ambos os sistemas mais o cenário de evento, é possível passar a uma fase de apreciação da respectiva evolução do estado da rede ao longo do tempo e comparação de ambos os cenários. Todo este capítulo é desenvolvido em torno de uma comparação da rede na situação actual e num cenário de evento, para desse modo ser possível avaliar os impactes resultantes desta solicitação do sistema de transportes.

Uma vez que o período de análise considerado é a hora de ponta da tarde, a simulação tem obrigatoriamente de ter uma duração de 3600 segundos (60 minutos), no entanto, para existir uma uniformidade nos parâmetros avaliados é necessário incluir um período de aquecimento, neste caso, com cerca de 900 segundos (15 minutos).

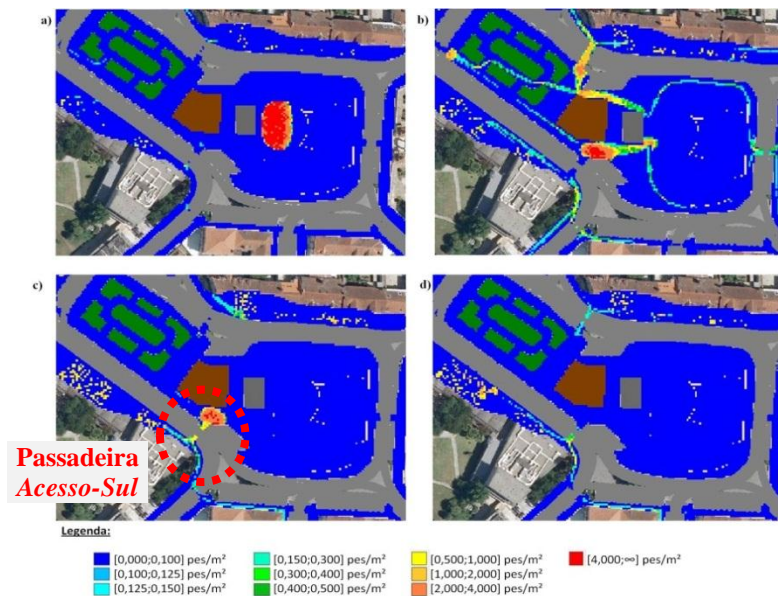
Na Fig.4 é apresentada a evolução do número de veículos e peões ao longo da simulação na situação actual e no cenário de evento.



**Fig.4. Gráficos demonstrativos da evolução do número de veículos (a) e peões (b).**

Através da observação da figura anterior é possível afirmar que o período de aquecimento adoptado foi o correcto, pois alcançou-se a uniformidade desejada para o número de veículos e peões no início do período de análise. Com a introdução do evento na simulação, obtivemos novos dados que vão de encontro às expectativas, nomeadamente no sistema de tráfego, tais como o aumento de tráfego na rede nos instantes imediatamente a seguir ao final do evento (resultante dos congestionamentos) e posteriormente a redução do número de veículos na rede derivado da saída dos veículos pertencentes a peões provenientes do evento, estabilizando novamente ao fim de 10 minutos. Olhando para o sistema pedonal é possível observar uma diferença no número de peões entre cenários no final da simulação, resultado da existência de peões provenientes do evento com destino aos transportes colectivos e que ainda se encontram à espera destes no fim da simulação.

Na Fig. 5 são apresentadas diversas fases da simulação no cenário de evento sob a forma temática, de modo a ser possível identificar tanto os locais críticos, como a duração dos impactes.

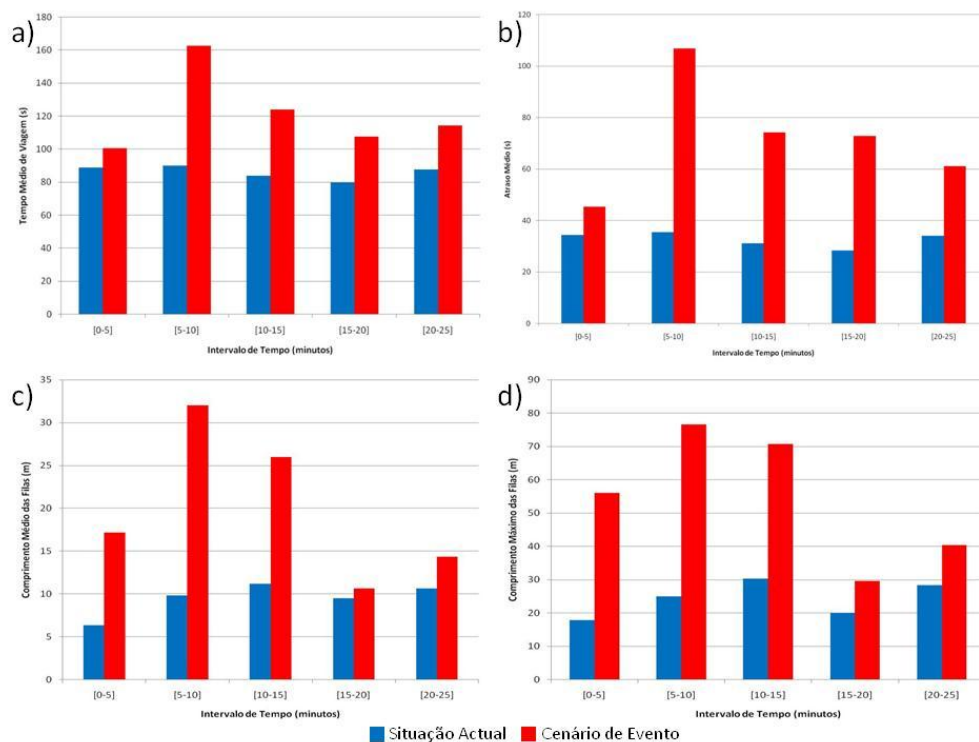


**Fig. 5. Evolução das densidades pedonais ao longo do tempo com origem no evento: a) Final do evento; b) Após 5 minutos; c) Após 10 minutos; d) Após 22 minutos.**

Analisando a figura anterior, retira-se o resultado mais importante em todo este processo, no qual se conclui que os impactes na Praça onde ocorre o evento sentem-se até 22 minutos após o seu final, ou seja, até esse instante as densidades no cenário de evento são superiores à situação actual na zona de estudo. Para além deste facto, confirma-se que os peões utilizam todos os caminhos disponíveis com ligação à Praça, através das respectivas passadeiras. Uma vez mais observando a figura, verificamos que ao fim de 10 minutos apenas a passadeira de *Acesso-Sul* se encontra com um elevado número de peões à espera da oportunidade para atravessar o arruamento.

#### 4.1 Sistema de Tráfego

Após a análise de indicadores tais como, número de veículos/peões e densidades, procedeu-se ao estudo de indicadores mais específicos de modo a ser mais facilmente perceptível as condicionantes provocadas pelo hipotético evento. Para tal, o período de análise considerado foi de 25 minutos após o final do evento, dividindo-se em 5 intervalos de 5 minutos cada. Para a respectiva análise considerou-se uma divisão por sistemas, ou seja, inicialmente analisou-se o sistema de tráfego, em seguida o sistema pedonal e por último realizou-se uma análise própria para os transportes colectivos. Na Fig.6 estão representados os resultados da análise aos indicadores do sistema de tráfego.

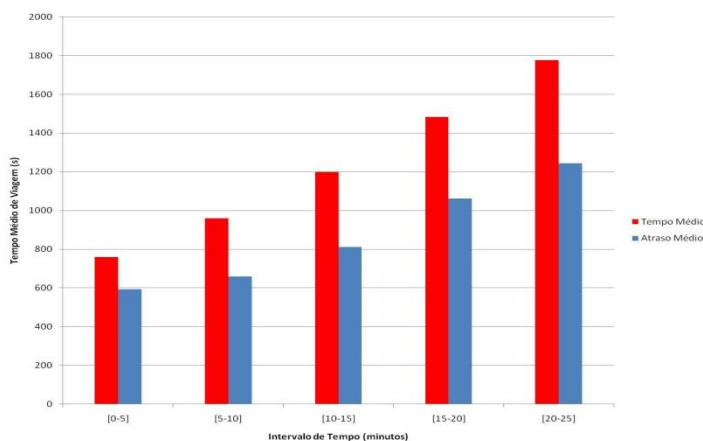


**Fig.6. Gráficos dos diferentes indicadores de tráfego analisados: a) Tempo médio de viagem; b) Atraso médio; c) Comprimento médio das filas; d) Comprimento máximo das filas.**

Observando a figura anterior é possível retirar conclusões sobre o efeito da ocorrência de um evento nesta área específica da cidade de Coimbra. Ao verificar todos os resultados obtidos, os indicadores seleccionados seguem as expectativas de um acontecimento deste tipo. As medições dos tempos de viagem, dos atrasos, comprimentos médios e máximos foram consistentes entre si e possibilitaram uma boa caracterização das consequências da realização do evento, isto é, a existência de um intervalo crítico para o sistema de tráfego no intervalo dos [5-10] minutos após o final do evento.

## 4.2 Sistema Pedonal

Com base na Fig. 5, fica patente o problema de existir um aglomerado de peões que perdura durante um tempo excessivo na passadeira *Acesso-Sul*. Considerando esse ponto, realizou-se uma análise aos indicadores dos peões que passavam pela referida passadeira no sentido de mostrar através de resultados palpáveis a problemática em questão. Na Fig.7 é apresentado o tempo médio de viagem e atraso médio dos peões afectados no cenário de evento.

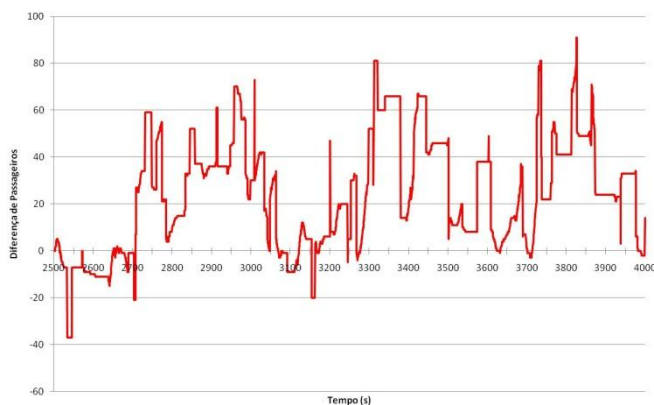


**Fig.7. Gráfico do tempo médio de viagem e atraso médio dos peões que utilizam a passadeira**

Analisando a figura anterior, pode verificar-se que à medida que o período de análise avança, o tempo médio de viagem aumenta. Este resultado seria expectável, uma vez que quanto mais tempo os peões estiverem no aglomerado, maior irá ser o tempo que demoram a chegar ao seu destino. Logicamente, o atraso médio segue a mesma tendência, já que este indicador está directamente relacionado com o tempo médio de viagem.

## 4.3 Transportes Colectivos

Por fim, obtiveram-se os resultados referentes ao transporte colectivo (TC), onde é importante mostrar se estes estão a desempenhar o seu papel correctamente. Normalmente, existem vários indicadores para representar as características mais importantes do desempenho dos TC, no entanto, como a zona de estudo se trata apenas de uma pequena parte de toda a malha urbana onde são efectuados os percursos das linhas de autocarros, a escolha recaiu sobre representar a diferença de ocupações de autocarros entre os dois cenários em estudo durante o período de análise. Na Fig.8 é possível observar a evolução da diferença de ocupações dos transportes colectivos entre ambos os cenários.



**Fig.8. Gráfico de evolução da diferença de ocupações dos transportes colectivos entre ambos os cenários.**

O gráfico representado na figura anterior é obtido através da subtração das ocupações no cenário de evento pelas ocupações na situação actual, dando deste modo a noção do aumento ou redução das ocupações em função da realização do evento. Apesar de, no início do período de análise a diferença ser negativa, observa-se rapidamente que essa diferença passa a positiva, demonstrando que com a ocorrência do evento a utilização dos transportes colectivos aumenta significativamente em relação à utilização na situação actual.

## 5 CONCLUSÕES

Tendo em conta a cada vez maior complexidade dos sistemas de mobilidade, torna-se essencial a realização de estudos que consigam prever a evolução da realidade da forma mais exacta e detalhada possível. A utilização de ferramentas de simulação é cada vez mais frequente à medida que a capacidade dos computadores aumenta, nomeadamente os modelos de micro-simulação que utilizam uma representação agente a agente. Devido a este tipo de representação, a fase de concepção dos modelos apresenta-se como uma das mais importantes nas análises através da micro-simulação. Neste campo, a ausência de uma funcionalidade específica do *software* VISSIM para a representação de eventos, exigiu que se recorresse à conjugação de diversas funcionalidades para alcançar os objectivos, não garantindo no final uma representação exacta de todos os fenómenos registados em eventos semelhantes ao estudo de caso.

Relativamente ao estudo de caso, concluiu-se que o modelo representa bem a realidade e que o intervalo crítico para o sistema de tráfego quando sujeito ao impacte de um evento de considerável concentração de peões, situa-se no intervalo dos [5-10] minutos. Focando o sistema pedonal, verifica-se que vão existir problemáticas ao nível das passadeiras, sendo que a passadeira *Acesso-Sul* é aquela que apresenta pior desempenho, resultado dos elevados volumes pedonais em conflito com os ciclos semaforicos desajustados para tamanha procura. Tendo em conta todos estes factores, e dependendo do tipo de evento e público-alvo pode considerar-se que as pessoas directamente afectadas pelos impactes estão dispostas a aceitar esses acréscimos durante um curto espaço de tempo em benefício da cidade.

## 6 AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Engimind e PTV AG, uma vez que através de uma parceria com a Universidade de Coimbra disponibilizaram gratuitamente o *software* (VISSIM) para efeitos de investigação, nomeadamente na realização do trabalho aqui apresentado.

## 7 REFERÊNCIAS

1. WIEDEMANN, R.; REITER, U. (1992) "Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state". Project ICARUS (V1052) Final Report, Vol. 2, Appendix A, CEC, Brussels.
2. HELBING, Dirk; MOLNÁR, Péter (1995) "Social force model for pedestrian dynamics". The American Physical Society, Vol. 51, Number 5, pp. 4282-4286.