

UTILIZAÇÃO DA MICROSSIMULAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO EM AUTOESTRADAS

Joaquim M. Macedo¹, Agostinho Benta¹ e Luís Picado-Santos²

¹ Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Aveiro, Portugal

email: jmacedo@ua.pt <http://www.civil.ua.pt>

² Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Lisboa, Portugal

Sumário

Nos últimos anos a rede de autoestradas portuguesa tem sofrido uma enorme evolução. A análise e avaliação da sua qualidade de serviço tem sido efetuada usando metodologias internacionalmente aceites, como as do “Highway Capacity Manual” (HCM), apesar de estas não terem sido desenvolvidas especificamente para a realidade portuguesa. Seria pois interessante o seu desenvolvimento. Este trabalho apresenta uma abordagem em que se pretende estudar o recurso à microsimulação para adequar a metodologia preconizada no HCM2000 para secções correntes de autoestradas. Para o efeito utilizaram-se dois simuladores (AIMSUN e VISSIM) e estudou-se a sua capacidade em representar a influência de alguns dos fatores envolvidos, com vista à adequação dessa metodologia à realidade nacional. Concluiu-se que a potencialidade da metodologia é elevada embora hajam aspetos adicionais a levar em conta para se ter finalmente uma ferramenta de simulação que possa servir para validar a representatividade de alguns parâmetros explicativos do comportamento do tráfego em autoestradas nacionais.

Palavras-chave: Autoestradas; microsimulação; níveis de serviço; HCM.

1 INTRODUÇÃO

Portugal é atualmente um dos países europeus com melhor cobertura espacial e populacional (5º entre os 27 da UE) no que à rede de autoestradas diz respeito. Em termos absolutos, a rede de autoestradas nacional tinha, no final de 2011, uma extensão total de 2903 km [1], o que contrasta com os 1486 km que existiam em 2000 [2]. Este acentuado crescimento da rede, aliado ao aumento do tráfego, leva a que seja necessária a utilização de metodologias de análise e avaliação da qualidade do serviço que é prestado neste tipo de infraestruturas rodoviárias, no que às condições de circulação diz respeito. Tradicionalmente, a avaliação dessa qualidade de serviço é efetuada por intermédio de metodologias internacionalmente aceites, das quais se destaca a preconizada no *Highway Capacity Manual* (HCM) [3] e com a qual se determinam os níveis de serviço nas diversas componentes de uma autoestrada (secções correntes, ramos de ligação e secções de entrecruzamento).

Porém, do ponto de vista teórico a simples transposição direta para a realidade portuguesa de uma metodologia elaborada para outro país, levanta algumas reservas, uma vez que todos os elementos que compõem o ambiente rodoviário (infraestrutura, veículo e condutor) são de alguma forma distintos dos da realidade norte-americana para a qual foi desenvolvido o HCM.

Assim, seria bastante útil para todos os atores envolvidos no sector rodoviário disporem de metodologias desenvolvidas para as condições portuguesas, que possibilitassem uma caracterização mais realista da qualidade de serviço ao nível da operação em autoestradas e desta forma ter uma possibilidade mais efetiva de proceder à previsão do regime de velocidades adequado para potenciar um melhor escoamento do tráfego, parte importante dum sistema de gestão ativo de tráfego numa infraestrutura rodoviária, concretizado, por exemplo, com a manipulação de velocidade permitida transmitida aos condutores através de painéis de informação. No entanto, o

desenvolvimento de metodologias deste género requer uma quantidade muito significativa de dados geométricos e de tráfego, o que se traduz na necessidade de uma enorme quantidade de meios, quer humanos, quer materiais. Esta abordagem é assim de difícil execução, sendo por isso interessante procurar estudar o recurso a metodologias alternativas para a persecução desse objetivo.

Ultimamente tem-se verificado o uso cada vez mais generalizado de modelos de simulação microscópica de tráfego. Estes procuram recriar num ambiente virtual o movimento individual dos veículos num sistema de tráfego, e a partir dessa representação possibilitar um conjunto de análises de tráfego.

Com este trabalho pretende-se apresentar os resultados da primeira fase da tentativa de desenvolvimento de uma metodologia que possibilite recriar através de simuladores microscópicos de tráfego o comportamento das correntes de tráfego em secções correntes de autoestradas. O objetivo principal seria a adaptação da metodologia preconizada no HCM na sua edição de 2000 à realidade portuguesa, tendo-se para isso procurado neste trabalho verificar se os simuladores microscópicos utilizados (AIMSUN e VISSIM) são capazes de representar a influência de todos os fatores envolvidos, com vista a numa segunda fase se conseguir quantificar a sua influência para a realidade nacional. Este artigo sublinha nas suas conclusões as principais vantagens e limitações que os simuladores utilizados apresentam, e ainda a forma como estas limitações poderão ser ultrapassadas para que o objetivo principal possa ser atingido.

2 MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Nos últimos anos tem-se verificado um enorme crescimento da utilização de modelos de simulação microscópica de tráfego. Estes consistem em ferramentas informáticas que tentam recriar, o mais realisticamente possível num ambiente virtual, o movimento individual dos veículos num sistema de tráfego. As suas potencialidades têm tornado a simulação de tráfego num importante instrumento de apoio à decisão no campo da engenharia de tráfego, uma vez que possibilitam um conjunto alargado de análises de tráfego. Segundo [4], a microssimulação de tráfego pode ser definida como sendo a modelação dinâmica e estocástica dos movimentos de veículos individuais nos diferentes elementos de um sistema de transportes. Cada veículo é gerado aleatoriamente pelo simulador e o seu movimento ao longo dos elementos da rede é representado de segundo em segundo (ou fração de segundo) de acordo com as suas características físicas (comprimento, máxima aceleração, etc.), as regras fundamentais do movimento e as regras de comportamento dos condutores (regras de seguimento, regras de mudança de via, etc.).

Assim, nos simuladores microscópicos de tráfego a dinâmica de cada veículo é representada com base em teorias de comportamento do tipo seguimento (*car-following*), mudança de via (*lane-changing*) e de aceitação do intervalo crítico (*gap acceptance*) [5,6].

O número de simuladores microscópicos de tráfego ao dispor dos técnicos, entidades governamentais e gestores de infraestruturas rodoviárias é bastante significativo, sendo que algumas têm apenas como finalidade a investigação, enquanto outras são produtos comerciais. O projeto europeu SMARTTEST, concluído em 1999 [7], identificou cinquenta e oito simuladores microscópicos de tráfego, tendo analisado pormenorizadamente trinta e dois deles. De entre todos os simuladores existentes, o AIMSUN, CORSIM, MITSIM, PARAMICS e VISSIM são alguns dos mais conhecidos e utilizados internacionalmente.

2.1 O Simulador AIMSUN

O simulador de tráfego AIMSUN (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks*), foi concebido e desenvolvido pelo Laboratório de Investigação Operacional e Simulação (LIOS), grupo de investigação pertencente ao Departamento de Estatística e Investigação Operacional da Universidade Politécnica da Catalunha em Espanha, e teve a sua versão inicial em 1987 [8]. Consiste num simulador microscópico de tráfego e que tem como principal objetivo a simulação de tráfego em redes urbanas e interurbanas, contendo para tal um vasto conjunto de sistemas avançados em telemática de Transportes [9]. O seu interface gráfico proporciona ao utilizador uma plataforma simples para a construção do modelo e para a utilização do mesmo como ferramenta de avaliação [9]. Atualmente o AIMSUN é um produto comercial.

O AIMSUN na sua última versão contém, para além do modelo de microssimulação de tráfego, um modelo mesoscópico e um modelo macroscópico. Isto permite que haja uma verdadeira integração ao nível do detalhe, facilitando o uso do *software* pelo utilizador pois permite-lhe com a mesma representação da rede, os mesmos

dados de base e consequentemente com o mesmo modelo, obter resultados mais ou menos detalhados (www.aimsun.com).

O AIMSUN realiza a modelação microscópica do movimento dos veículos recorrendo a um modelo de seguimento baseado no modelo proposto por Gipps [10,11] e num modelo de mudança de via que pode também ser considerado um desenvolvimento do modelo de mudança de via proposto pelo mesmo autor [11,12].

2.2 O Simulador VISSIM

VISSIM é o acrónimo de *Verkehr In Städten SIMulation* que significa em alemão, simulação de tráfego em áreas urbanas. Este modelo desenvolvido e comercializado pela empresa alemã PTV Planung Transport Verkehr AG consiste num simulador microscópico capaz de modelar a circulação de tráfego automóvel bem como de transportes públicos em redes urbanas e interurbanas, possibilitando a análise e optimização do funcionamento de intersecções e das próprias redes [9] (www.ptvag.com). Na sua última versão este simulador inclui também um módulo para a simulação do tráfego pedonal possibilitando a análise da circulação de peões quer em vias urbanas quer em locais como interfaces de transportes ou edifícios públicos (www.ptvag.com).

O VISSIM é uma ferramenta que permite o apoio à decisão aos planeadores de sistemas de tráfego e de transportes, uma vez que lhes possibilita a avaliação de vários cenários em situações complexas, tais como, intersecções ou esquemas de circulação, antes das mesmas estarem construídas ou implementadas [9]. O seu interface gráfico e as possibilidades de apresentação dos resultados, permitem que com o VISSIM seja possível, por exemplo, a realização de animações 3D e de pequenos clips de vídeo, o que torna a análise e a apresentação de resultados aos decisores, geralmente não técnicos, muito mais simples e intuitiva (www.ptvag.com).

O VISSIM é baseado num modelo microscópico de tráfego discreto, estocástico e em sucessivos intervalos de tempo (time steps). O modelo considera as unidades veículos-condutores, como entidades individuais cujo comportamento é gerido por intermédio de um modelo de seguimento (*car-following*) do tipo psico-físico para a simulação do movimento longitudinal de veículo, e de um algoritmo baseado em regras para os movimentos laterais (*lane changing*). O modelo foi desenvolvido com base nas pesquisas efectuadas por [13]. O pacote de simulação do VISSIM consiste em dois programas distintos, que incluem um simulador de tráfego microscópico e um gerador de estado dos sinais luminosos.

3 METODOLOGIA DO HCM2000 PARA SECÇÕES CORRENTES

A metodologia preconizada no HCM2000 [3] para a determinação do nível de serviço em secções correntes de autoestradas, define que uma secção deste tipo consiste num segmento de autoestrada que se encontra livre de qualquer perturbação provocada pela entrada ou saída de veículos [3]. Os níveis de serviço neste tipo de elementos são definidos em função da concentração (ou densidade) verificada no segmento em análise. No Quadro 1 apresentam-se os limites definidos no HCM2000 para cada nível de serviço.

Quadro 1. Definição do nível de serviço em secções correntes de auto-estradas [3]

Nível de Serviço	Concentração (uvl/km/via)
A	0 – 7
B	> 7 – 11
C	> 11 – 16
D	> 16 – 22
E	> 22 – 28
F	> 28

A determinação do valor da concentração (D) é efectuada de via indireta através da determinação do débito de veículos ligeiros para o período de ponta de 15 minutos (v_p), com base em contagens para o volume de tráfego realizadas para a hora de ponta, e da velocidade média no espaço (S) da corrente de tráfego. A expressão que o possibilita é a seguinte:

$$D = \frac{v_p}{S} \quad (1)$$

O valor do débito de veículos para o período de ponta de 15 minutos é obtido a partir do volume de veículos registado para a hora de ponta (V), corrigido do valor do fator de ponta horária (PHF), do número de vias (N) e de dois fatores de ajustamento, um devido à presença de veículos pesados (f_{HV}) e um outro relativo ao tipo de condutor (f_p), da seguinte forma:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p} \quad (2)$$

Importa realçar a importância do fator de ajustamento devido à presença de pesados, que irá permitir homogeneizar a corrente de tráfego, refletindo o efeito da presença deste tipo de veículos no comportamento global da corrente de tráfego. Este fator é calculado a partir da expressão (3), onde P_T representa a proporção de veículos pesados existentes na corrente de tráfego e E_T o fator de equivalência de pesados em veículos ligeiros de passageiros.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} \quad (3)$$

Este fator de equivalência E_T depende do tipo de terreno ou da extensão e comprimento de um dado trainel específico, que devido à sua extensão e/ou inclinação obrigue a um estudo em particular. Os valores para este parâmetro encontram-se indicados no HCM2000 [3].

Relativamente à velocidade média da corrente de tráfego, esta é obtida a partir da velocidade em regime livre (FFS). Para tal o HCM2000 apresenta um conjunto de relações velocidade-débito definidas para várias velocidades em regime livre, a partir das quais se pode obter a velocidade média da corrente de tráfego em função dos débitos observados (Figura 1).

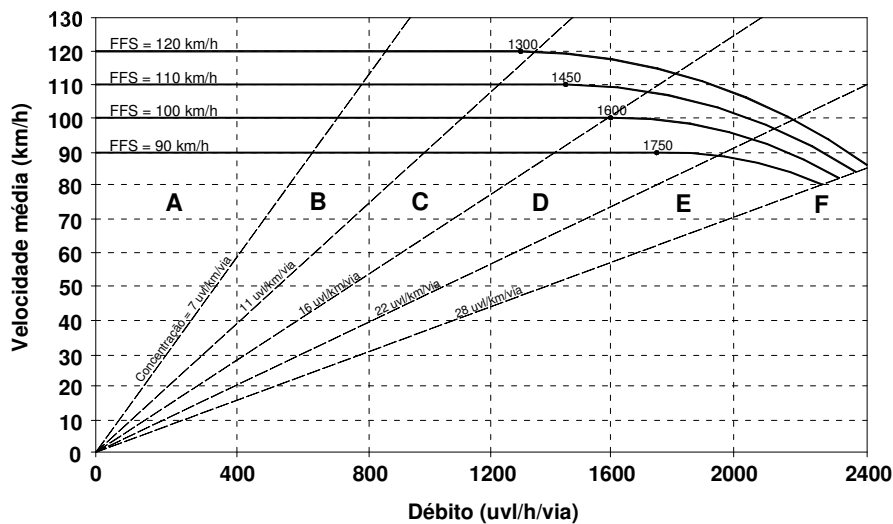


Figura 1 - Relação Velocidade – Débito (adaptado HCM2000) [3]

Para determinar a velocidade em regime livre duas abordagens distintas podem ser utilizadas. A primeira, através da sua medição no local em estudo para volumes de tráfego baixos a moderados (inferior a 1300 uvt/h/via) [3]. A segunda, consiste na sua estimativa (expressão 4) a partir de uma velocidade em regime livre base (BFFS), que corresponde habitualmente à velocidade limite legal, que posteriormente é corrigida por intermédio de fatores de ajustamento devido à largura das vias (f_{LW}), à desobstrução lateral da berma direita (f_{LC}), número de vias (f_N) e densidade de nós de ligação (f_{ID}). Os respetivos valores podem ser encontrados no HCM2000 [3].

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \quad (4)$$

Conhecida a velocidade em regime livre, e recorrendo às relações indicadas na Figura 1, obtém-se, por interpolação, a relação velocidade-débito para essa velocidade em regime livre. O nível de serviço pode então ser determinado, calculando-se a concentração a partir da expressão (1), sendo para tal necessário obter a velocidade média da corrente de tráfego para o débito de veículos para o período de ponta de 15 minutos recorrendo à relação obtida. Este pode também ser obtido a partir da Figura 1.

Como fica patente nesta breve descrição da metodologia do HCM2000 para a avaliação do nível de serviço em secções correntes de autoestradas, são vários os fatores que têm influência no comportamento das correntes de tráfego neste tipo de infraestruturas. São alguns destes fatores que serão testados nos simuladores para aferição do seu impacto no comportamento das correntes de tráfego simuladas através destas ferramentas.

Importa referir que no final de 2010 foi lançada a nova edição do HCM, o HCM2010 [14], sendo que a mesma introduz algumas alterações a esta metodologia, nomeadamente nas relações fundamentais. No entanto, essas alterações não modificam a metodologia em termos conceptuais, pelo que se optou por considerar a metodologia do HCM2000, por existir uma versão métrica e por já ter vários anos de aplicação.

4 ABORDAGEM UTILIZADA

A abordagem utilizada neste trabalho para se efetuar a análise da capacidade de cada um dos dois simuladores microscópicos de tráfego utilizados, o AIMSUN e o VISSIM, em representar o comportamento macroscópico de correntes de tráfego em secções correntes de autoestradas consistiu na codificação de uma autoestrada, na qual se procedeu à calibração do comportamento macroscópico das correntes de tráfego geradas, considerando para o efeito as relações fundamentais existentes no HCM2000.

Para o efeito, foi codificada em cada um deles uma pista experimental, inspirada na abordagem utilizada por [15], que consiste na construção de um anel fechado e num ramo de entrada com a respetiva via de aceleração. Desta forma consegue-se que os volumes de tráfego aumentem progressivamente, de modo a que se consiga obter a relação entre o débito e a velocidade, desde os valores mais baixos para o débito até se atingir a capacidade.

A construção da pista experimental teve como principal premissa a possibilidade de comparação dos seus resultados com as relações fundamentais de tráfego para autoestradas que constam do HCM2000 [3]. Assim, procurou-se que a conceção da pista experimental seguisse o mais proximamente possível as condições base definidas no HCM2000, e que são:

- Largura das vias igual a 3,6 m;
- Desobstrução lateral do lado da berma direita mínima - 1,8 m;
- Desobstrução lateral do lado do separador central mínima - 0,6 m;
- Apenas veículos ligeiros de passageiros na corrente de tráfego;
- Espaçamento entre nós de ligação mínimo – 3 km;
- Terreno plano, com traneis cuja declive seja $\leq 2 \%$;
- Condutor habitual do percurso;
- Velocidade em regime livre igual ou superior a 110 km/h.

Com estes pressupostos foi então concebida uma pista experimental composta por dois alinhamentos rectos com 3000 m de extensão, ligados por duas curvas circulares com 850 m de raio. A extensão da via de aceleração do ramo de entrada considerada foi de 270 m. Sendo as autoestradas o objeto do estudo, e uma vez estas geralmente têm um perfil transversal de 2x2 vias, a pista experimental possui duas vias de tráfego com largura de 3,6 m. Toda a pista experimental apresenta-se de nível, satisfazendo o critério do terreno ter de ser plano. A velocidade adotada foi de 110 km/h tendo-se considerado na fase de calibração uma corrente de tráfego constituída apenas por veículos ligeiros de passageiros.

A justificação para a escolha dos valores dos raios das curvas circulares e da extensão da via de aceleração reside nos valores apresentados nas normas de traçado [16] e de intersecções [17]. No primeiro caso, utilizou-se o valor

do raio mínimo normal, obtido por interpolação, para uma velocidade de base de 110 km/h. No segundo caso, e para a mesma velocidade adotou-se o valor de 270 m, indicado na norma de intersecções [17].

Relativamente às bermas, os valores adotados foram os constantes das condições base definidas no HCM2000. Porém, convém desde já mencionar que apenas no simulador microscópico AIMSUN foram codificadas as bermas, uma vez que o simulador VISSIM não prevê essa possibilidade.

Na Figura 2 apresenta-se uma visão geral da pista experimental adotada e codificada em cada um dos simuladores microscópicos de tráfego utilizados. Para cada simulação foram consideradas 10 repetições, o que segundo alguns autores é considerado como suficiente para responder ao caráter estocástico destes simuladores [18].

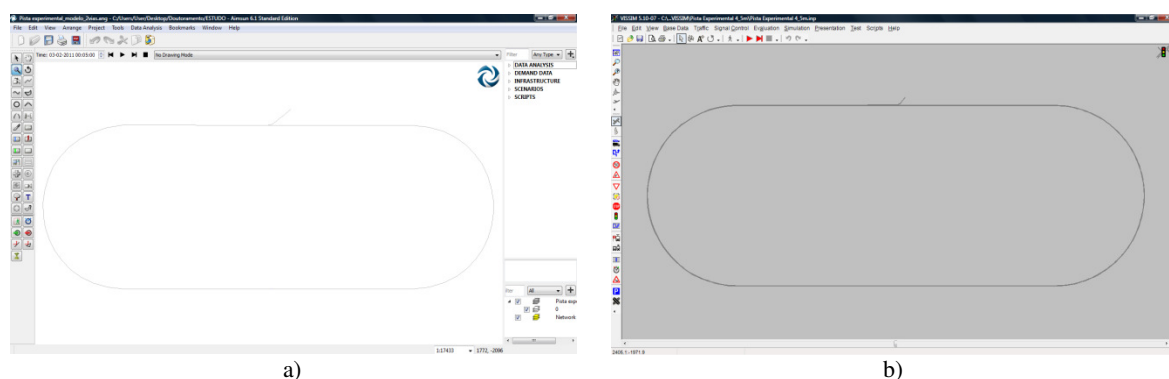


Figura 2 - Visão geral da pista experimental: a) AIMSUN; b) VISSIM.

Segundo [19], quando os modelos de comportamento de seguimento e de mudança de via se encontram calibrados adequadamente, estes devem ser capazes de reproduzir com precisão suficiente fenómenos macroscópicos observáveis. No entanto, convém desde já referir que as relações fundamentais obtidas por esta abordagem têm um comportamento característico, reflexo dos modelos de comportamento microscópico utilizados por cada simulador.

Após a calibração de cada um dos simuladores, foram alteradas algumas das características da pista experimental e da composição do tráfego, de forma a testar os impactes dos seguintes parâmetros:

- Largura das vias;
- Desobstrução lateral na berma da direita;
- Influência da composição do tráfego e da inclinação dos traineis.

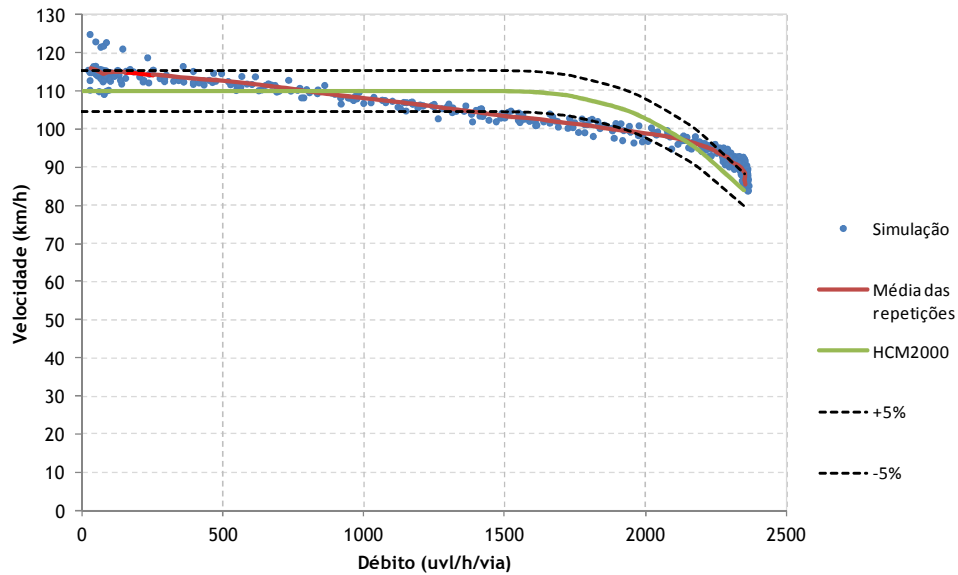
Importa desde já referir que nem todos os parâmetros foram passíveis de modelação. Foi o caso da influência da desobstrução lateral na berma da direita quando se usou o simulador VISSIM, uma vez que este simulador não possibilita que sejam codificadas as bermas. Na secção seguinte apresentam-se os principais resultados obtidos e efetua-se uma breve discussão dos mesmos.

5 RESULTADOS OBTIDOS E SUA DISCUSSÃO

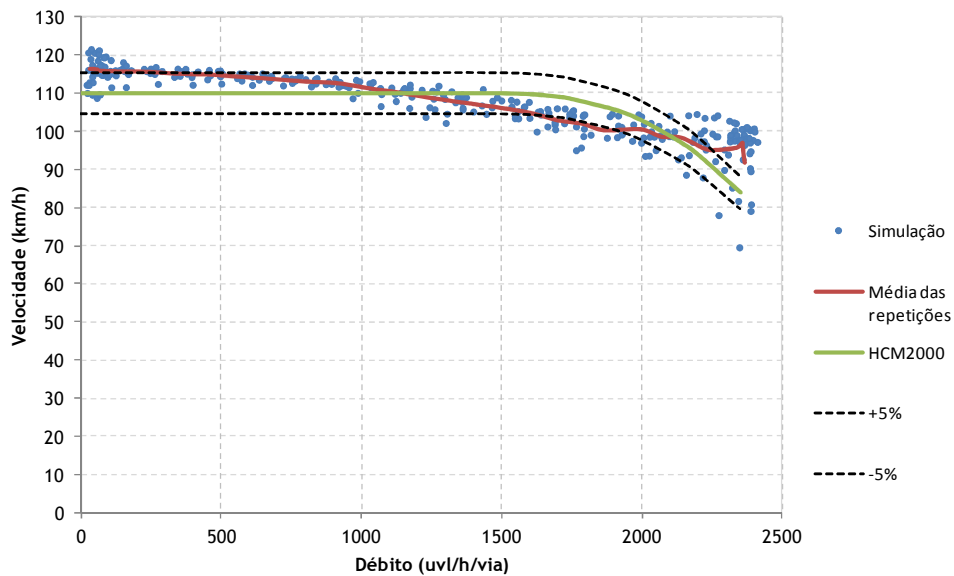
5.1 Relações Velocidade-Débito Obtidas pelos Simuladores

Após a codificação do modelo para as condições base estabelecidas no HCM2000, procedeu-se a um processo de calibração, com vista a aproximar a relação velocidade-débito obtido com a que se encontra nesse manual. Este processo foi conseguido através da alteração dos valores de alguns parâmetros de calibração dos simuladores, como por exemplo a velocidade desejada, tendo sido conseguido por tentativa erro, tendo-se considerado aceitável o resultado que permitiu maximizar a quantidade de pares de pontos simulados dentro de uma banda em torno da relação do HCM2000 de $\pm 5\%$ da velocidade. Na Figura 3 apresentam-se as relações obtidas para cada um dos simuladores, onde se representa apenas os valores correspondentes às condições de escoamento estável, ou seja até se atingir a capacidade. Na Figura apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das

repetições simuladas, que correspondem a débitos para períodos de 15 minutos, e a média dessas repetições para cada um dos períodos de análise.



a)



b)

Figura 3 – Relações velocidade-débito obtidas pelos simuladores: a) AIMSUN; b) VISSIM.

Como se pode constatar o comportamento das relações simuladas é algo diferente do da proposta do HCM2000. Este facto tem duas explicações principais. A primeira, relativa à relação do HCM2000, prende-se com a circunstância de esta ser uma curva estimada por técnicas de regressão a partir de dados recolhidos na rede norte-americana, constituindo ela mesma um modelo da realidade. A segunda explicação está relacionada com os simuladores. À medida que os veículos são gerados e os débitos vão aumentando na rede, também aumentam as interações entre veículos, levando a que a velocidade dos veículos comece a ser cada vez mais influenciada pelo comportamento dos restantes veículos que com eles interagem, levando a uma diminuição progressiva da velocidade média da corrente de tráfego.

5.2 Influência da Largura das Vias

A largura das vias tem no HCM2000 uma influência que se traduz na diminuição da velocidade em regime livre. A diminuição dessa largura do valor de 3,6 m, definido nas condições base, para 3,0 m origina uma redução de 10,6 km/h na velocidade em regime livre, o que significa que a relação fundamental também ela vai ser alterada.

Para se estudar o efeito deste parâmetro, a pista experimental foi modelada alterando a largura das vias de 3,6 m para os 3,0 m. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 4.

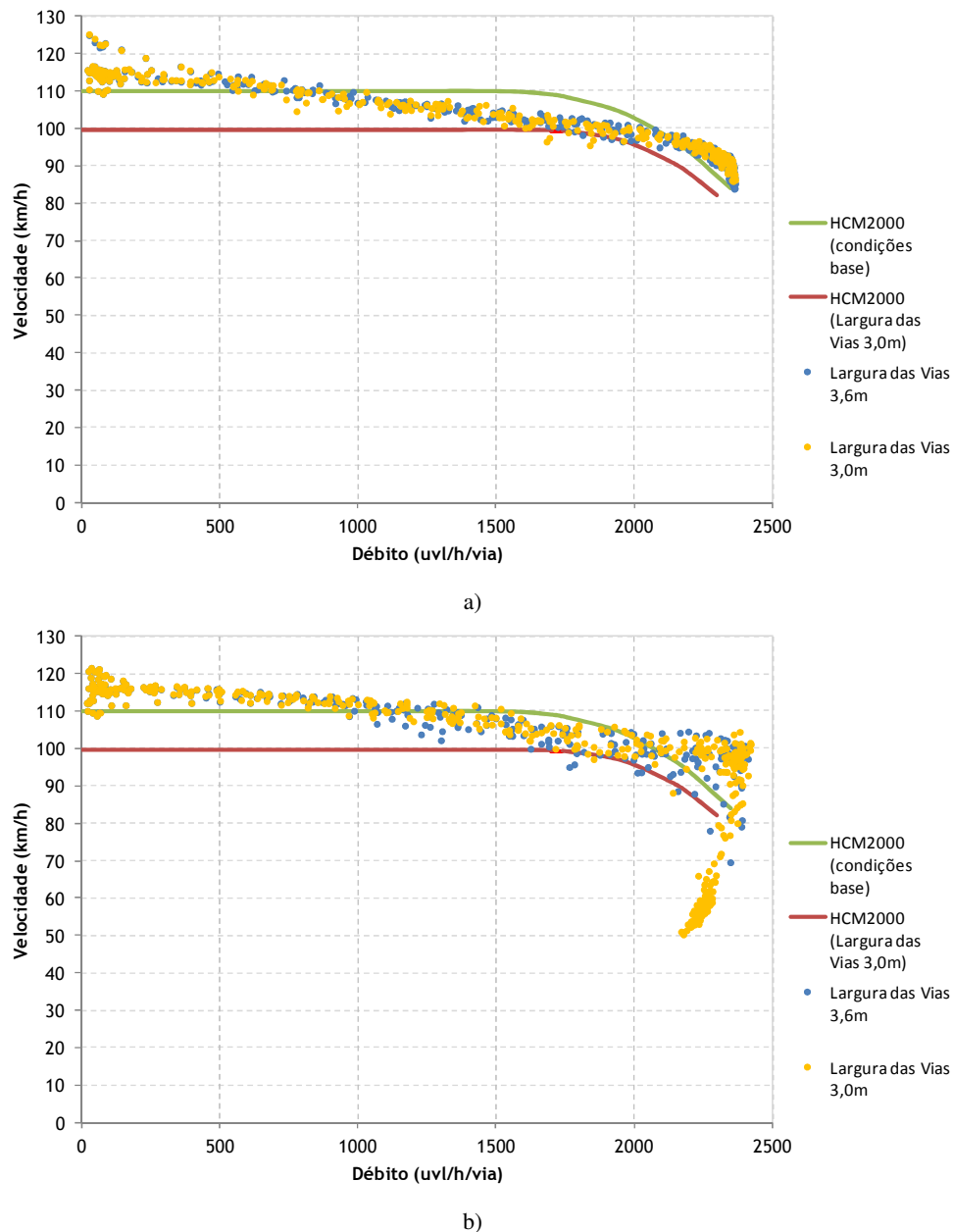


Figura 4 – Influência da largura das vias: a) AIMSUN; b) VISSIM.

Os resultados obtidos mostram claramente que a largura das vias não influencia o comportamento das correntes de tráfego simuladas. Aliás o próprio manual do simulador VISSIM [20] refere que a introdução da largura das vias no modelo, apenas tem como objetivo a representação gráfica das vias, não sendo considerado na modelação. No entanto, convém desde já referir que apesar do efeito da diminuição da largura das vias não ser

considerado diretamente nas simulações, o mesmo pode ser modelado de forma indireta através da modificação de outros parâmetros de modelação, como é o caso da velocidade desejada.

5.3 Influência da Desobstrução Lateral na Berma Direita

A desobstrução lateral na berma direita é outro dos parâmetros que o HCM2000 considera para a correção da velocidade em regime livre. As condições base impõem que esta desobstrução ocorra numa largura que deverá ser maior ou igual a 1,8 m. A não existência de desobstrução lateral significa, à luz da metodologia do HCM2000, uma redução de 5,8 km/h na velocidade em regime livre.

No que toca a este parâmetro, apenas é possível tentar modelar o seu efeito no simulador AIMSUN, uma vez que o simulador VISSIM não considera a possibilidade de codificar bermas. A Figura 5 ilustra os resultados atingidos quando se eliminou a berma direita no simulador AIMSUN.

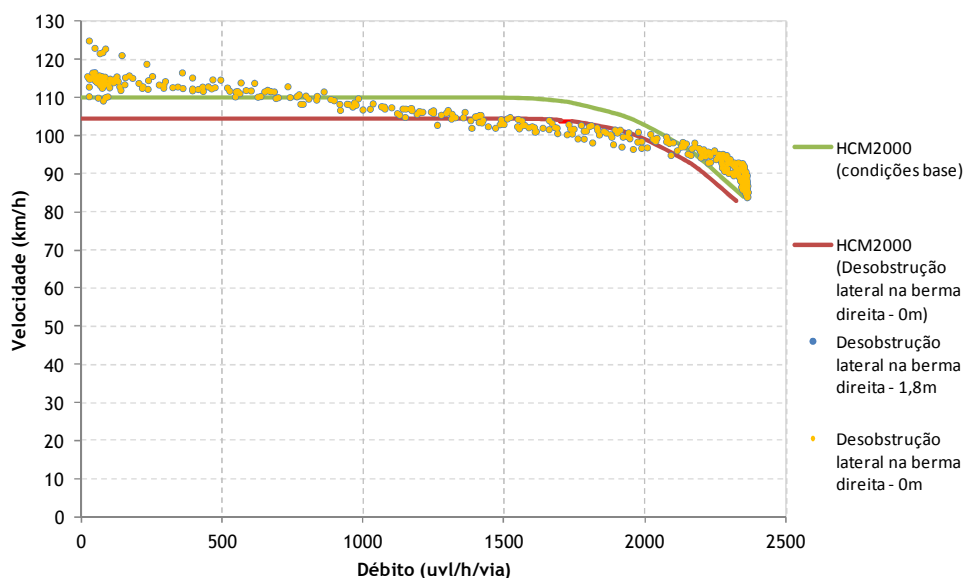


Figura 5 - Influência da desobstrução lateral na berma direita no simulador AIMSUN

Analisando a Figura 5 verifica-se que a desobstrução lateral não tem qualquer influência no comportamento da relação velocidade-débito anteriormente obtida.

5.4 Influência da Composição do Tráfego e da Inclinação dos Trainéis.

O último fator estudado neste trabalho foi a presença de veículos pesados na corrente de tráfego. O efeito destes veículos é conseguido através de fatores de equivalência em veículos ligeiros de passageiros, com o intuito de homogeneizar a corrente de tráfego. Estes fatores de equivalência dependem do tipo de terreno, ou da inclinação e extensão dos trainéis quando se justifique a sua análise individualmente. Para modelar este efeito foi considerado um trainel com uma inclinação de 4 % e extensão de 2500 m. Segundo o HCM2000 o fator de equivalência de pesados para um trainel com estas características é igual a 3,0, o que significa que a relação fundamental passa a ser a indicada na Figura 6. Nessa Figura mostram-se ainda os resultados das simulações efetuadas considerando o trainel acima referido e uma percentagem de pesados igual a 10%, bem como as realizadas admitindo 10% de pesados e terreno plano.

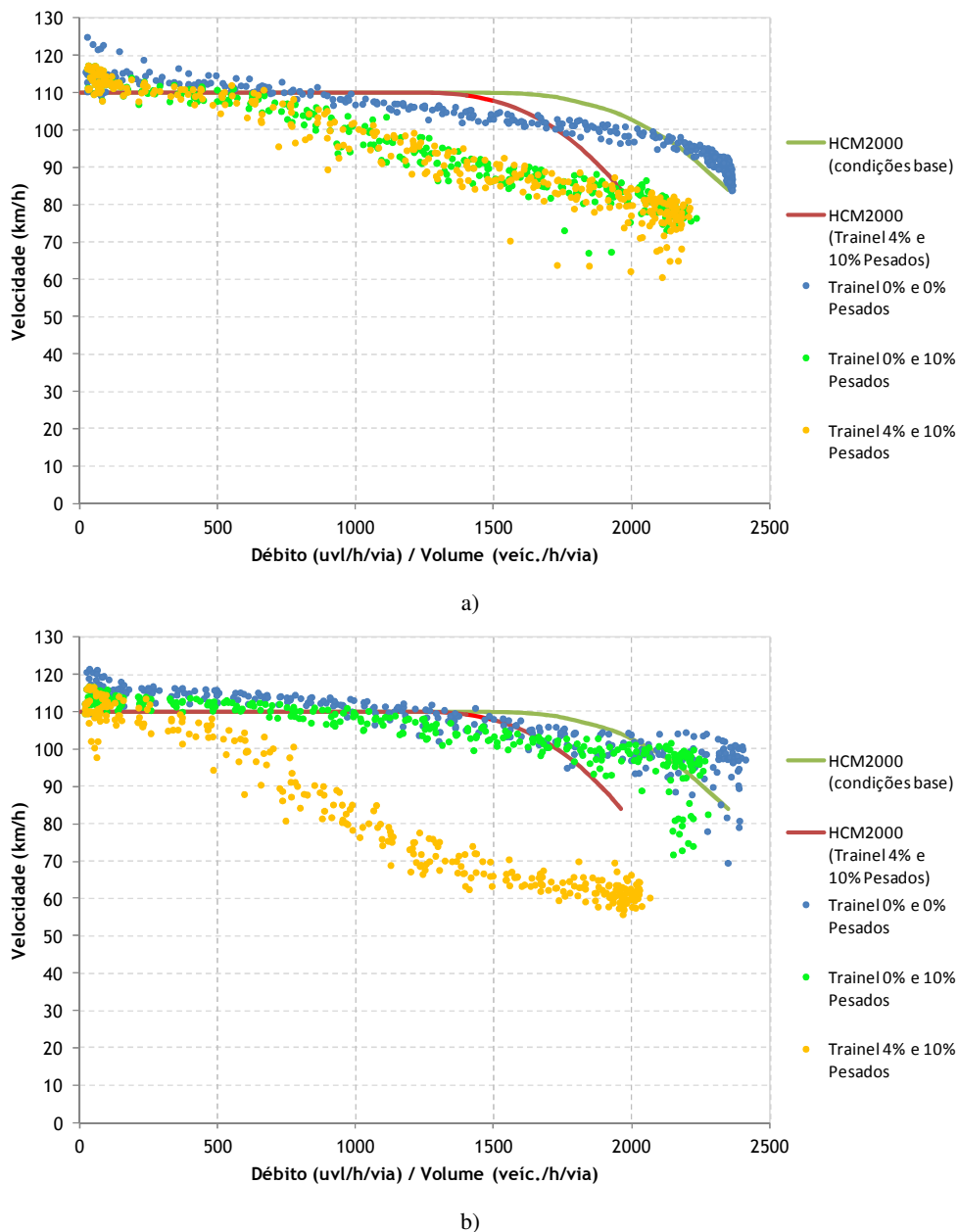


Figura 6 – Influência da composição do tráfego e da inclinação dos trainees: a) AIMSUN; b) VISSIM.

Da análise dos resultados presentes na Figura 6 é possível verificar que no simulador AIMSUN a influência dos veículos pesados no desempenho da corrente de tráfego é passível de modelação, porém o efeito da inclinação dos trainees e da consequente redução da velocidade dos veículos pesados não se encontra devidamente representado, uma vez que os resultados são muito semelhantes aos obtidos para o caso do trainee sem inclinação longitudinal. A explicação pode residir nos modelos de comportamento, designadamente o modelo de seguimento que não consegue reproduzir convenientemente este fenómeno.

Quanto ao simulador VISSIM, este consegue representar os dois fenómenos, sendo que comparativamente com o AIMSUN a redução da velocidade e de capacidade foi inferior aos valores atingidos através desse simulador. A justificação pode residir na forma como são definidas as velocidades desejadas para os diferentes tipos de veículos. Relativamente à influência da inclinação dos trainees, os resultados mostram claramente que no VISSIM o efeito é modelado, verificando-se que a diminuição de velocidade dos pesados quando têm de

percorrer um trainel com as características consideradas tem um impacto muito significativo no comportamento da corrente de tráfego.

Um último aspeto tem de ser salientado e prende-se com a relação velocidade-débito que o HCM2000 estabelece em função da metodologia que é preconizada. Nessa relação, o efeito da menor velocidade de circulação dos veículos pesados, que por imperativos legais é geralmente inferior aos dos ligeiros de passageiros, deveria teoricamente fazer com que a velocidade em regime livre da corrente de tráfego baixasse em relação à considerada quando existem apenas veículos ligeiros. Ora, a metodologia do HCM2000 não é isso que especifica, mantendo-se a velocidade em regime livre e corrigindo-se apenas os débitos através de fatores de equivalência. Este procedimento faz com que o impacto dos veículos pesados na velocidade ocorra apenas para valores elevados do débito, desprezando o efeito na velocidade média da corrente de tráfego quando os débitos são mais baixos. Porém, os resultados obtidos com a microssimulação sugerem que esse impacto pode ser significativo também para débitos mais baixos.

6 CONCLUSÕES

Como principais conclusões deste trabalho pode-se afirmar que a utilização de simuladores microscópicos de tráfego para simular o comportamento das correntes de tráfego em autoestradas tem ainda de ser efetuada com cuidado, nomeadamente se se pretender utilizá-los como ferramenta de desenvolvimento de metodologias mais simples, uma vez que foram encontradas algumas limitações nos modelos construídos com estas ferramentas.

Torna-se assim fundamental incorporar algumas funcionalidades nos simuladores por forma a serem ultrapassadas as limitações encontradas. Estas podem ser efetuadas através da inclusão de sub-rotinas que modelem diretamente o efeito desses parâmetros. Por exemplo, no caso dos traineis, a incorporação de modelos que incluam as equações da tração, pode ser um caminho a seguir, uma vez que irá impor uma velocidade máxima possível devido à limitação física a que os veículos estão sujeitos quando circulam nesses elementos.

No entanto, os simuladores microscópicos de tráfego são extremamente úteis na análise de situações complexas, em que a análise com outras metodologias é de difícil ou mesmo impossível aplicação.

Relativamente ao objetivo principal, o de desenvolver uma metodologia que possibilite a adaptação da metodologia preconizada no HCM na sua edição de 2000 à realidade portuguesa, ficou patente que ainda existe muito caminho a percorrer e que muitas dificuldades têm de ser ultrapassadas. Porém, com o desenvolvimento de um simulador mais específico concebido com esse objetivo e com o estudo mais aprofundado das condições de circulação nas autoestradas portuguesas, será possível o desenvolvimento dessa metodologia a médio/longo prazo. Esse simulador deverá ser capaz de modelar o efeito dos parâmetros intervenientes na metodologia do HCM2000 de modo a que seja possível a obtenção de valores adaptados às realidades para as quais o simulador deverá ser devidamente calibrado e validado. O caminho para a persecução desse objectivo obrigará a uma recolha de dados de campo (por exemplo, volumes, composição, velocidades, tempos de percurso) que possibilitem, numa primeira fase, o desenvolvimento desses modelos (que idealmente deverão ser capazes de representar qualquer realidade) e, numa segunda fase, a calibração e validação dos mesmos. Assim, com o auxílio dessa ferramenta deverá, pelo menos em teoria, ser possível a adequação da metodologia às condições nacionais, desde que o modelo de simulação com ela construído esteja devidamente calibrado e validado com dados recolhidos em autoestradas portuguesas.

7 REFERÊNCIAS

1. INE, *Estatísticas dos Transportes 2011*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2012.
2. INE, *Estatísticas dos Transportes 2000*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2002.
3. TRB, *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A, 2000.
4. Caltrans, *Guidelines for Applying Traffic Micro Simulation Modeling Software*. 2002.
5. Brackstone, M. & McDonald, M., Car-following: a historical review, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(4) 181-196, 1999.

6. Toledo, T., Driving Behaviour: Models and Challenges, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 27(1) 65-84, 2007.
7. SMARTTEST, *SMARTTEST Final Report for Publication*, ITS, University of Leeds, 2000.
8. J. Barceló, Microscopic Traffic Simulation: A tool for the Analysis and Assessment of ITS Systems, Highway Capacity Committee, *Half Year Meeting*, Lake Tahoe, July 2001
9. SMARTTEST, *SMARTTEST Project Deliverable D3*, European Commission, 4th Framework Programme, Transport RTD Programme, Contract N°: RO-97-SC.1059, August 1997
10. Gipps, P. G., A behavioural car-following model for computer simulation, *Transportation Research Part B: Methodological*, 15(2) 105-111, 1981.
11. Gipps, P. G., MULTSIM: a model for simulating vehicular traffic on multi-lane arterial roads, *Math Computation Simulation*, 28 291-295, 1986.
12. Gipps, P. G., A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5) 403-414, 1986.
13. Wiedemann, R., *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Technical report, Institute for traffic Engineering, University of Karlsruhe, Germany. 1974.
14. TRB, *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A, 2010.
15. Manstetten D., Krautter W., Schwab T., Traffic simulation supporting urban control system development. *Proceedings of the 4th world conference on ITS*, Seoul, 1998.
16. JAE P3/94, Norma de Traçado – Junta Autónoma de Estradas, 1994.
17. JAE P5/90, Norma de Intersecções – Junta Autónoma de Estradas, 1990.
18. Bloomberg, L., Dale, J. A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models. Institute of Transportation Engineers Annual Meeting, Agosto de 2000.
19. Casas J., Ferrer J, Garcia D., Perarnau J., Torday A., Traffic simulation with Aimsun, *Fundamentals of Traffic Simulation*, Ed. Jaume Barceló, Springer, 2010.
20. PTV, *VISSIM 5.10 User manual*, PTV AG, 2008.