

O DESEMPENHO DE ROTUNDAS ANALISADO ATRAVÉS DA MICROSIMULAÇÃO – UM CASO DE ESTUDO

G. B. Ferreira, J. M. Macedo, A. A. Benta, L. A. Silva

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento muito acentuado da escolha das soluções do tipo rotunda. A existência de diversas soluções geométricas, algumas delas bastante complexas, aliado ao facto da sua deficiente concepção poder provocar um mau desempenho de funcionamento, origina a necessidade de o avaliar através de metodologias de análise de desempenho. A utilização da microsimulação de tráfego tem várias vantagens, destacando-se a possibilidade de análise de inúmeros cenários, o que possibilita a análise de desempenho num ambiente controlado, de um conjunto de configurações geométricas e de diversos níveis de tráfego. Neste trabalho pretendeu-se caracterizar o funcionamento de uma rotunda, para diversos níveis de procura, usando microsimulação. Foram analisadas diversas alterações geométricas com o intuito de aferir qual seria o impacto dessas alterações ao nível de desempenho da rotunda, tendo-se caracterizado o desempenho das várias soluções em termos do indicador de desempenho atraso médio por veículo.

1 INTRODUÇÃO

As intersecções são pontos críticos da rede viária, quer em termos de segurança rodoviária, devido ao facto de serem pontos de acumulação de acidentes, quer ao nível do escoamento do tráfego, pois são muitas vezes a causa de atrasos consideráveis na realização de uma viagem gerados por problemas de congestionamento. Esta especificidade das intersecções obriga ao seu estudo cuidado, de modo a que seja possível a optimização do funcionamento de toda a rede viária. De entre todos os tipos de intersecções de nível existentes: de prioridade à direita, prioritárias, rotundas e reguladas com sinais luminosos, tem-se verificado um crescimento muito acentuado da escolha das soluções do tipo rotunda para realizar a regulação do tráfego na intersecção de duas ou mais estradas.

Efectivamente, a grande diversidade de configurações geométricas que este tipo de intersecção permite, aliado ao seu vasto campo de aplicação tornaram esta tipologia de intersecção de uso cada vez mais generalizado.

As rotundas são um tipo de intersecção “igualitária”, pois impõe a perda de prioridade a todos os veículos que a elas se aproximam, o que as torna numa solução particularmente indicada quando as estradas intersectadas têm importâncias funcionais e níveis de tráfego semelhantes. São também uma solução muito utilizada para marcar transições de ambiente territorial ou de características geométricas e funcionais dos eixos viários, sendo o tipo de intersecção mais indicado quando o número de ramos da intersecção é superior a quatro. No entanto, uma má escolha do tipo de rotunda ou uma concepção geométrica deficiente

pode provocar um mau desempenho do seu funcionamento, com repercussões ao nível dos atrasos sofridos pelos veículos que a ela afluem.

Tradicionalmente, a análise do desempenho das rotundas, nomeadamente no que concerne à determinação da capacidade de cada uma das suas entradas, é realizada através de métodos que se podem incluir numa das seguintes categorias: estatísticos (empíricos); probabilísticos. Os métodos estatísticos ou empíricos são métodos desenvolvidos a partir de observações de campo e onde se correlacionam determinados parâmetros geométricos das rotundas com indicadores de desempenho, designadamente a capacidade. Um dos métodos mais conhecidos é o proposto pelo *Transport Research Laboratory*, que se encontra incluído no programa de cálculo ARCADY. Este programa de cálculo permite não só o cálculo de capacidades, mas também dos atrasos e das filas de espera (Semmens, 1985). Relativamente aos métodos probabilísticos, estes baseiam-se na teoria do intervalo crítico (*gap acceptance theory*) e constituem o tipo de abordagem usada, por exemplo, no *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000)

Actualmente, tem-se verificado um enorme crescimento da utilização de modelos de simulação microscópica de tráfego, pois constituem uma importante ferramenta de apoio no campo da engenharia de tráfego. De entre as inúmeras vantagens destaca-se a possibilidade de análise de inúmeros cenários que seriam de muito difícil realização em condições reais, devido aos meios e custos que acarretam. Esta vantagem permite aos técnicos a análise num ambiente controlado de um conjunto de configurações geométricas e de diversos níveis de tráfego, permitindo-lhes escolher as melhores soluções para cada caso concreto.

Os modelos de simulação microscópica procuram reproduzir a dinâmica de veículos individuais com base em teorias de comportamento do tipo seguimento (*car-following*) e de mudança de via (*lane-changing*). A entrada dos veículos numa rede de transporte, ou seu elemento é, normalmente, efectuada através de uma distribuição estatística de chegadas (um processo estocástico) sendo o seu comportamento dinâmico controlado através das teorias atrás referidas, para sucessivos intervalos de tempo pequenos (por exemplo, 1 segundo ou uma fracção de segundo).

Neste trabalho pretendeu-se caracterizar o funcionamento de uma rotunda com uma geometria complexa, para diversos níveis de procura, usando uma ferramenta de microsimulação de tráfego, mais concretamente o simulador microscópico de tráfego VISSIM.

A rotunda escolhida para servir de caso de estudo está localizada em Aveiro, tendo-se procedido à sua modelação e à análise do seu desempenho para as condições de tráfego reais. Para além disto, foram analisadas diversas alterações geométricas com o intuito de aferir qual seria o impacto dessas alterações ao nível de desempenho da rotunda. O indicador escolhido para caracterizar o desempenho das diversas soluções foi o atraso médio por veículo, por ser o indicador de desempenho recomendado pela edição de 2000 do *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) para a determinação do nível de serviço em intersecções.

2 O SIMULADOR DE TRÁFEGO 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 (SMARTTEST, 1997; 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 (SMARTTEST, 1997). 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 Wiedemann (1974). 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 ESTUDO

O estudo realizado consistiu na comparação do desempenho de uma rotunda, na qual se procedeu a algumas alterações da sua configuração geométrica. Foram assim considerados diversos cenários, que foram posteriormente codificados e simulados. Procurou-se através da utilização da microsimulação analisar o impacto dessas alterações no desempenho, análise essa que seria de difícil concretização no caso de se aplicarem as metodologias tradicionais.

3.1 Caracterização da Rotunda Analisada

A rotunda em análise situa-se na periferia da cidade de Aveiro, constituindo-se como a intersecção entre a movimentada E.N. 109, a Avenida da Granja, a nova Avenida de ligação à estação de comboios de Aveiro e a ligação à Rua da Sofia. Trata-se de uma rotunda elipsoidal de grande dimensão, cuja geometria foi obtida a partir de arcos de circunferência com 37 e 72m, com cinco ramos de entrada, sendo que todos os ramos apresentam duas vias nas entradas (com 3,5m de largura cada) e duas vias nas saídas. O anel de circulação é composto por três vias de circulação com uma largura igual a 4,0m cada uma delas. Na Figura 1 apresenta-se uma imagem aérea da rotunda em causa.

A escolha desta rotunda prendeu-se com o facto de à partida esta apresentar uma geometria algo complexa de analisar através dos métodos convencionais, e também por não respeitar o princípio do número de vias nas entradas ser igual ao número de vias no anel de circulação.



Fig. 1 – Rotunda estudada (Virtual Earth, 2010)

3.2 Dados Recolhidos

Com a finalidade de se conhecerem, por um lado quais as proporções do volume tráfego total que chega à rotunda que corresponde a cada entrada, e por outro lado quais as respectivas repartições direccionais, foram efectuadas contagens de tráfego, quer para o período de ponta da manhã, quer para o período da tarde. Com base nessas contagens e procedendo a uma homogeneização dos volumes de tráfego em veículos ligeiros equivalentes através da conversão dos veículos pesados, encontraram-se as proporções médias referidas atrás características da rotunda analisada que originaram a matriz origem-destino apresentada na Figura 2. O factor de equivalência de veículos pesados em veículos ligeiros utilizado foi $E=1,5$, valor indicado no HCM 2000 para as condições da situação em análise.

O/D	A	B	C	D	E	Σ
A	0%	1,875%	30%	3,75%	1,875%	37,5%
B	1,25%	0%	1,25%	0,75%	1,75%	5%
C	31,875%	1,875%	0%	1,875%	1,875%	37,5%
D	4,5%	0,5%	4,5%	0%	0,5%	10%
E	4%	1%	5%	0%	0%	10%
Σ	41,625%	5,25%	40,75%	6,38%	6%	100%

Legenda:

- A- Entrada Sul E.N. 109
- B- Ligação Rua da Sofia
- C- Entrada Norte E.N. 109
- D- Ligação à Estação de Comboios
- E- A.v. da Granja

Fig. 2 – Matriz origem-destino com as proporções de tráfego observadas

3.3 Cenários Analisados

Neste estudo foram analisados quatro cenários que correspondem às seguintes configurações geométricas:

- Cenário Base – Corresponde à configuração geométrica da rotunda que se encontra actualmente construída e cujas características foram já apresentadas neste trabalho;
- Cenário A – Redução do número de vias no anel de circulação de três vias para apenas duas vias com uma largura igual a 4,0m cada uma.
- Cenário B – Alteração da forma da rotunda para circular com um diâmetro do círculo inscrito igual a 94m. Relativamente aos número de vias, considerou-se neste cenário duas vias em cada entrada e duas vias no anel de circulação, com as larguras consideradas no cenário base;
- Cenário C – Aumento do número de vias nas entradas da EN 109 de duas para três, tendo-se diminuído a sua largura de 3,5m para 3,0m.

3.4 Modelação dos Cenários

3.4.1 Codificação

O primeiro passo da modelação consistiu na codificação dos diversos cenários no simulador VISSIM. Para esse efeito utilizou-se o projecto CAD da rotunda construída (cenário base). O VISSIM permite a importação de ficheiro em formato CAD, o que facilitou a codificação de toda a configuração geométrica da rotunda. Todos os restantes cenários foram codificados a partir da codificação efectuada para o cenário base.

Para além das características geométricas, foram também definidas as velocidades nas aproximações e no anel de circulação, sendo que estas últimas foram obtidas a partir da equação 1.

$$V = \sqrt{127R(e + f)} \quad (1)$$

Onde:

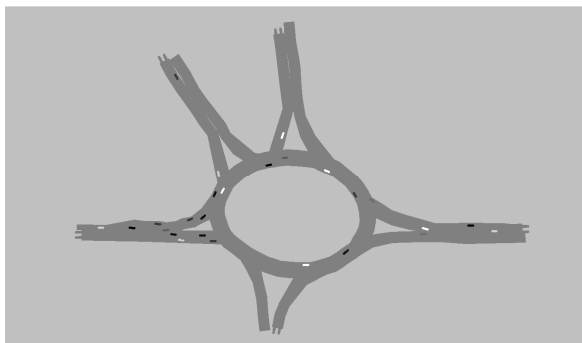
V – velocidade estimada no elemento curvo (km/h)

R – raio (m);

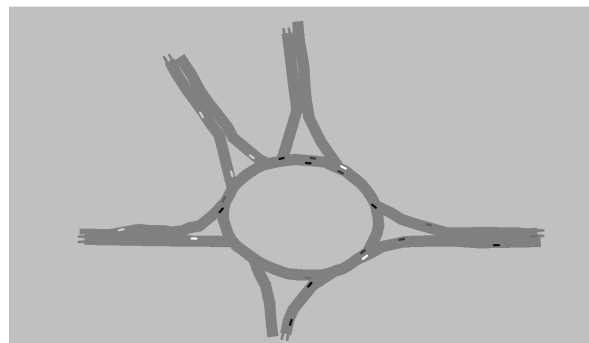
e – sobrelevação(m/m);

f – coeficiente de atrito (0,23)

As prioridades foram definidas em termos de áreas de conflito, visto as versões mais recentes do VISSIM permitirem esta possibilidade (PTV, 2008). A afectação de tráfego foi realizada a partir das proporções indicadas na matriz O/D da Figura 2. Na Figura 3 apresentam-se os vários cenários que foram analisados



a) Cenário base



b) Cenário A

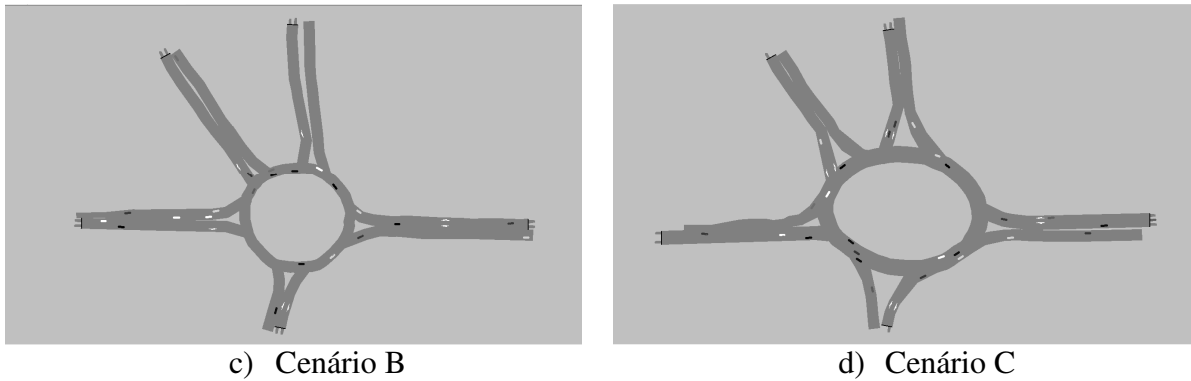


Fig. 3 – Cenários analisados

3.4.2 Calibração

No que respeita à calibração do modelo, tratando-se este estudo de um trabalho exploratório em que se procurava analisar a influência da geometria no desempenho das rotundas, os parâmetros que foram utilizados para efectuar as várias simulações foram os considerados por defeito no simulador VISSIM. Para além disso, constatou-se que o comportamento simulado se aproximava, nomeadamente em termos de filas de espera geradas, do observado em campo, pelo que não foram desenvolvidos esforços adicionais neste campo.

4 RESULTADOS

As simulações efectuadas para os vários cenários possibilitaram a obtenção de várias curvas em que se relaciona o volume de tráfego que chega às rotundas e o atraso médio por veículo (Figura 4). Estas curvas foram obtidas fazendo variar o volume de tráfego total em intervalos iguais a 250 veíc./h. Importa referir que os atrasos obtidos apenas dizem respeito ao atraso que os veículos sofrem devido às filas de espera originadas pelo tipo de regulação de tráfego intrínseco das rotundas, não se tendo contabilizado o atraso geométrico associado a este tipo de intersecção.

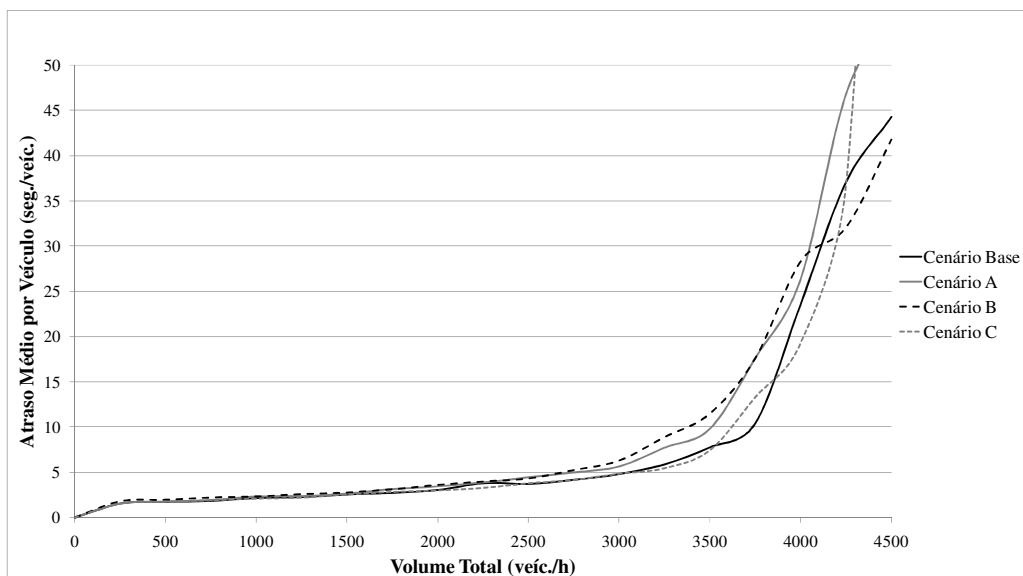


Fig.4 – Atraso médio por veículo para os vários cenários estudados

Da análise dos resultados obtidos é possível verificar dois comportamentos distintos. O primeiro, verificado para níveis de tráfego total até 2500 veíc./h, onde se constata que o desempenho de todas as rotundas, correspondentes a cada um dos cenários considerados, apresentam um desempenho semelhante, o que permite concluir que até estes níveis de tráfego a configuração geométrica das várias soluções não teve influência no respectivo desempenho. O segundo comportamento, para níveis de tráfego superior ao limite atrás referido, mostra que a partir deste ponto o desempenho das várias soluções começa a ser bastante diferenciado, ao que acresce o facto do mesmo não ser uniforme. Os resultados evidenciam que as alterações introduzidas nas configurações geométricas influenciam o desempenho das rotundas, porém o comportamento não uniforme dos mesmos sugere que a interação entre os veículos, que é inerente à modelação através de simuladores de tráfego microscópicos, terá também influência no desempenho do sistema quando este se encontra próximo da saturação.

Uma outra constatação tem a ver com o elevado desempenho que todas as soluções estudadas revelaram ter. Verificou-se porém que, globalmente, a solução que apresentou melhor desempenho foi a correspondente ao cenário C e a pior a correspondente ao cenário B. Relativamente à redução do número de vias no anel de circulação, cenário A, o seu desempenho foi pior do que o do cenário base, apesar de em termos de princípios de concepção geométrica de rotundas ser o mais indicado. Estes resultados mostram que a metodologia utilizada permitiu identificar estas alterações no desempenho. De notar que este tipo de alteração geométrica não é possível de analisar à luz das metodologias tradicionais, como são o caso dos métodos TRL ou HCM2000.

Relativamente ao desempenho em condições próximas da saturação, os resultados indicam que a menor velocidade de circulação no anel, o menor número de vias de entrada, e o aumento do número de vias no anel de circulação são, por esta ordem, são os factores que permitem um melhor desempenho das rotundas nestas condições.

5 CONCLUSÕES

Do estudo realizado concluiu-se que as alterações geométricas introduzidas influenciam o desempenho da rotunda em análise. Essas diferenças de desempenho apenas se verificaram a partir de um volume de tráfego significativamente elevado, pelo que se conclui que em condições saturadas as diferenças nas concepções geométricas assumem uma maior importância. Ficou ainda evidente um comportamento não uniforme dos vários desempenhos das rotundas, o que sugere que para condições próximas do congestionamento, a interação entre veículos associada às características geométricas das soluções têm uma influência no desempenho global das mesmas.

Um outro aspecto que importa salientar deste trabalho é a constatação das inúmeras vantagens que a utilização dos modelos de simulação microscópica de tráfego apresentam, relativamente às metodologias tradicionais, pois possibilitam a análise de configurações geométricas complexas e cenários que essas metodologias não contemplam.

6 REFERÊNCIAS

PTV (2008) **VISSIM 5.10 User Manual**, Planung Transport Verkehr AG, Germany



Semmens, M.C. (1985). **ARCADY2: An Enhanced Program to Model Capacities, Queues and Delays at Roundabouts. TRRL Research Report 35**, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, U.K.

SMARTTEST (1997) **SMARTTEST Project Deliverable D3**, European Commission, 4th Framework Programme, Transport RTD Programme, Contract N°: RO-97-SC.1059, August 1997

TRB (2000). **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

Wiedemann, R., (1974), **Simulation des Straßenverkehrsflusses**, Technical report, Institute for traffic Engineering, University of Karlsruhe, Germany

www.ptvag.com