

## SIMULAÇÃO DE UMA ROTATÓRIA: ANÁLISE CRÍTICA E DESEMPENHO

**Eduardo Henrique Reis Montalvão**

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Rua Diogo de Vasconcelos, 122 – Centro – Ouro Preto – Minas Gerais, 35400-000

edu-montalvao@hotmail.com

### RESUMO

Os estudos para o dimensionamento adequado da malha de trânsito urbana são fundamentais para se garantir a fluidez e a coerência no tráfego interno dos municípios. Particularmente, os trechos de interseção (semaforizadas ou não) destacam-se por seus pontos críticos relativos à segurança, aspectos ambientais e de performance operacional. Este trabalho aplica a simulação computacional via Arena 13.0 em uma rotatória com preferência para via circular e analisa alguns cenários a partir da validação do modelo e de alterações nos parâmetros de entrada, tendo por base uma abordagem distinta de outras mais comuns na simulação e análise de rotatórias.

**PALAVRAS-CHAVE.** Rotatória. Fluxo veicular. Simulação computacional. Simulação.

### ABSTRACT

Studies for the proper sizing of the mesh of urban transit are key to ensuring the smooth and consistency in internal traffic of the cities. Particularly, the snippets of intersection (with traffic lights or not) are noted for their critical regarding safety, environmental and operational performance. This paper applies computer simulation via Arena 13.0 on a roundabout with preference for the ring road and analyses some scenarios from the model validation and changes in input parameters, based on an approach distinct from other, more common in the simulation and roundabout analysis.

**KEY-WORDS.** Roundabout. Vehicular flow. Computer Simulation. Simulation.

## 1. Introdução

Os estudos para o dimensionamento adequado da malha de trânsito urbana tanto nas grandes cidades quanto naquelas de médio porte são fundamentais para se garantir a fluidez e a coerência no tráfego interno dos municípios. Conforme ressalta Bertocini & Demarchi (2005), o sistema viário urbano é formado por vias de diferentes características que, em virtude de sua disposição, interceptam-se em diversos cruzamentos. Nestes locais há riscos potenciais que, eventualmente, resultam em acidentes caso o gerenciamento de tráfego não estabeleça o controle adequado para a circulação de veículos em tais pontos (Bertocini & Demarchi, 2005).

Com relação ao volume de veículos circulantes nas ruas das cidades, dados do relatório da Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP – (2007) indicam que, para cidades com populações entre 60 e 100 mil habitantes, 45% do transporte interno urbano efetuado nessas localidades utilizam e impactam significativamente a malha de trânsito, sendo o modal de transporte coletivo com 20%, carros particulares, 19%, e motocicletas com 6%. Para as cidades com mais de um milhão de habitantes, a utilização e o impacto sobem para 66%, com 36%, 28% e 2% para os modais já mencionados, respectivamente.

Neste contexto, o planejamento da malha urbana, sobretudo nas interseções, torna-se um elemento chave na determinação dos parâmetros que compõem a dinâmica do tráfego urbano, quais sejam: velocidade, fluxo, capacidade, segurança (de pedestres e motoristas) dentre outras.

Diante disso, as interseções não sinalizadas do tipo rotatória têm sido amplamente utilizadas nos projetos de malha viária por atenderem como prioridade básica a redução no nível de acidentes graves, seja pela redução gradual da velocidade nos pontos de conflito ou pela diminuição destes pontos onde ocorrem os conflitos veículo-veículo (Baranowsky *apud* Bie *et al*, 2005).

Diversos trabalhos na literatura argumentam sobre os aspectos ambientais, de segurança e de performance operacional das rotatórias em relação às interseções semaforizadas. Os estudos de Manage *et al* (2003), Bie *et al* (2005), e Lima *et al* (2009) discutem tais fatores de forma mais detalhada.

Hagring (2000) define rotatória como sendo uma série de interseções independentes em T, em que a capacidade de entrada de cada interseção depende do fluxo total de circulação. Este conceito dá significativa importância aos possíveis pares Origem-Destino (O-D). De forma complementar, Bie *et al* (2005) afirma que a rotatória é um cruzamento de tráfego não sinalizado onde todos os veículos viajam na mesma direção, ou seja, em sentido anti-horário (ou horário, para tráfegos em mão inglesa), em torno de uma ilha central.

No Brasil, são três os dispositivos rodoviários do tipo rotatória ou semi-rotatória empregados, a saber: semi-rotatória com prioridade para a via principal, rotatória com prioridade para a via principal e rotatória com prioridade para a via circular (ou simplesmente rotatória), Ortolani *apud* Bessa Júnior *et al* (2006).

Existem diversas abordagens que vêm sendo aplicadas no estudo e no tratamento do fluxo dos volumes de tráfego nesses tipos de interseções, e que dependem das particularidades de cada realidade. Tarko & Lyles (2001) utilizam o conceito de conservação de fluxo e redundância de dados para estimar os fluxos de manobras; outras abordagens consideram a suposição de máxima verossimilhança (Hauer *et al apud* Tarko & Lyles, 2001), a observação passada das proporções de manobras ou a simples determinação de valores plausíveis (Zuylen, Mountain & Westwell *apud* Tarko & Lyles, 2001), a utilização de tempos de viagem entre detectores a fim de identificar o progresso temporal das regularidades de tráfego em toda a sequência de detectores (Ploss & Keller *apud* Tarko & Lyles, 2001) dentre outros.

Diante da diversidade de metodologias possíveis de se estudar as interseções em rotatórias, vários tipos de softwares computacionais como VISSIM, SIDRA e INTEGRATION se prestam na construção de modelos de simulação específicos, respeitando as particularidades de cada abordagem.

Entretanto, segundo Galleli & Vaiana (2008), a simulação de operações de tráfego em rotatórias frequentemente apresenta diversas dificuldades, já que não é simples definir todas as características relativas à geometria e ao comportamento dos usuários.

Face ao exposto, este trabalho tem por objetivo: (1) construir e validar um modelo de simulação computacional para uma interseção em rotatória com prioridade para via circular utilizando o software Arena 13.0, (2) investigar alguns cenários específicos com base na redefinição dos parâmetros de entrada do modelo, assumindo um crescimento do fluxo veicular e (3) comparar os resultados obtidos pelos novos cenários com a realidade observada, evidenciando a evolução dos parâmetros de saída do modelo.

## 2. Metodologia

Nesta seção serão descritos os passos que foram seguidos para a condução deste estudo. Em primeiro lugar, encontra-se a descrição dos dados coletados. Em seguida, há o detalhamento da rotatória analisada e dos procedimentos para sua modelagem. O terceiro item trata de descrever quais os fatores relevantes e para quais cenários a simulações no software Arena 13.0 serão feitas. Por fim, o último tópico identifica as variáveis e ferramentas utilizadas na comparação entre os cenários, considerando-se modificações nos parâmetros obtidos pela coleta de dados.

### 2.1. Coleta de dados

Os dados de entrada para o modelo foram extraídos de uma filmagem de 60 minutos de uma interseção em rotatória com seis vias de acesso, gravada em um dia da semana no horário de pico do fluxo veicular, entre as 17h e 19h. O monitoramento do fluxo de veículos por gravação e/ou vídeo para a coleta de dados também podem ser verificados nos trabalhos de Mandavilli (2002), Dixon *et al* (2007), Akçelik (2008) dentre outros.

Três tipos de dados foram coletados durante toda a duração da filmagem, a saber: número de veículos e seus pares O-D; intervalo entre chegadas de veículos para cada uma das seis vias de aproximação; tempo no momento em que um veículo finaliza a manobra na rotatória. Os veículos foram contados a partir das suas vias de chegada (origem) e saída (destino). Esta contagem resulta em uma proporção de fluxo O-D para cada uma das 36 possibilidades existentes na rotatória. O intervalo entre chegadas descreve a quantidade de fluxo de cada via de acesso. Dessa forma, é possível conhecer as características de distribuição de fluxos individuais ao longo do tempo. Além disso, determinam-se as componentes mais impactantes em termos de utilização da rotatória. A coleta do tempo no momento de saída dos veículos, por sua vez, possibilita o cálculo do intervalo  $(0,t]$  gasto com a manobra na interseção. Esta medida fornece uma ideia da velocidade interna de tráfego. A estratégia de se coletar estes últimos dados conforme descrito se deve à dificuldade percebida de se cronometrar um a um todos os tempos de manobra.

### 2.2. Descrição e apresentação do modelo

A Figura 1 ilustra a interseção não semaforizada em estudo, composta por seis vias de acesso e dupla faixa, em que as vias 1, 3 e 6 são as vias principais, dotadas de placas de “Dê a preferência”, sendo a 2, 4 e 5 as secundárias, com ausência de qualquer tipo de sinalização. Pelas proporções O-D resultantes da coleta de dados, percebeu-se que as ruas enumeradas com 1, 3 e 6 possuem os maiores fluxos de circulação entrada/ saída, sendo, portanto, classificadas como vias principais.

Esta rotatória localiza-se na cidade de Ouro Preto/ MG, em um bairro que comporta residências, comércios e uma universidade federal. Devido ao seu relevo altamente acidentado, o município conta com uma restrição física peculiar em relação às condições de tráfego que

dificulta o seu dimensionamento adequado, sobrecarregando-o principalmente nos trechos de interseção.

A ilha central da rotatória não apresenta forma circular, sendo composta por um diâmetro maior de 27,0m e outro menor de 9,0m.

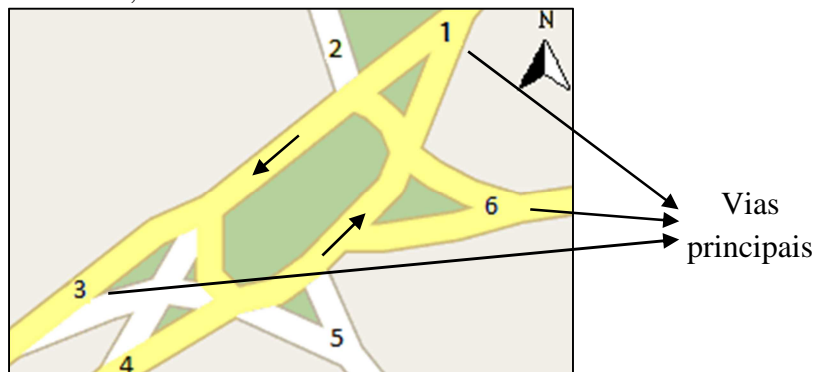


Figura 1 - Representação esquemática da rotatória. Fonte: Adaptado de Google Maps (2010).

Neste trabalho não foram considerados fatores dimensionais relativos a comprimento das faixas de circulação e aproximação. A construção do modelo baseou-se nas regras de preferências para via circular, presentes na rotatória em análise.

Para a implementação do modelo no software Arena 13.0, considerou-se uma fragmentação da rotatória em trechos menores, cada um contendo a entrada de uma via de aproximação e a saída da rua adjacente, no mesmo sentido de circulação. A esses trechos foram atribuídas velocidades de tráfego baseadas na distribuição dos tempos de manobra para os pares O-D.

Além disso, a composição final da modelagem contou com a observação visual do tráfego na rotatória e com a elaboração de um Diagrama de Ciclo de Atividades (DCA) específico para a dinâmica dos veículos em manobra. A Figura 2 ilustra o DCA:

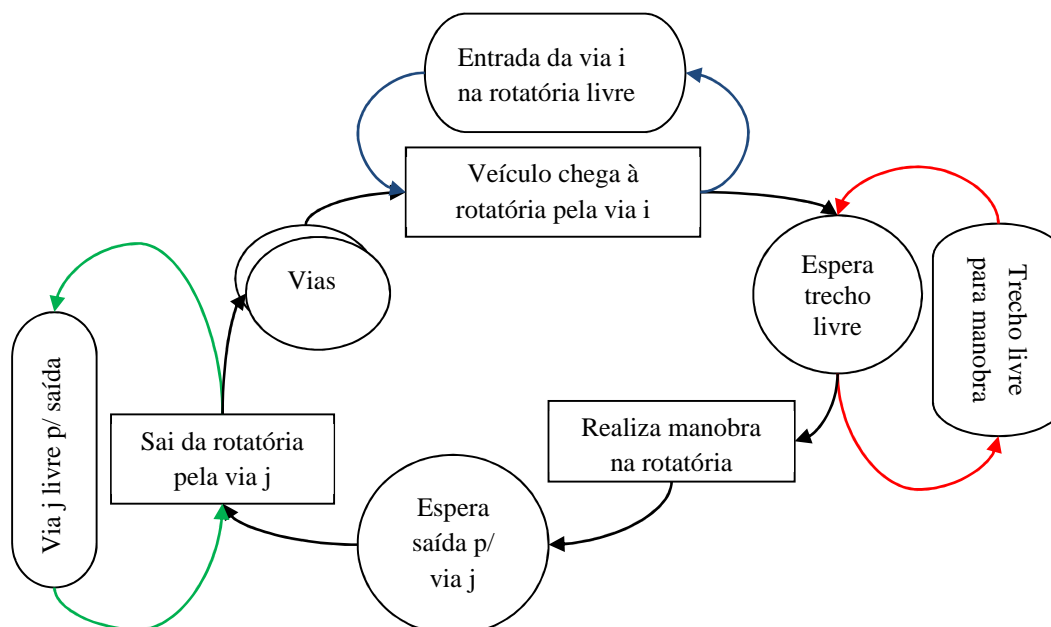


Figura 2 - Diagrama de Ciclo de Atividades (DCA). Fonte: Elaborado pelo autor.

Por estar localizada em um bairro tanto residencial quanto comercial, há ainda a intensa circulação de pedestres que transitam entre as vias de aproximação ou mesmo pela ilha central. Apesar de o modelo desenvolvido ignorar o fator pedestre, há que se salientar que esta seria outra

abordagem, necessitando para tanto uma nova investigação a fim de determinar este impacto sobre o fluxo veicular, o que extrapola o escopo deste trabalho.

O modelo foi implementado no software de simulação Arena 13, versão de avaliação, com um total de 12 replicações de 01 (uma) hora cada, tanto para o modelo quanto para os cenários.

## 2.3. Medidas de performance

A partir da análise dos dados, verifica-se que as vias 1, 3 e 6 são, de fato, as que contribuem mais significativamente com o fluxo de contorno na rotatória. Nesse sentido, para a determinação dos cenários propostos neste trabalho serão variáveis apenas os parâmetros relativos ao tempo médio entre chegadas de veículos para essas três interseções, mantendo constantes as demais medidas.

Isso posto, as seguintes medidas de comparação serão estabelecidas:

- Tempo de contorno na rotatória;
- Tempo de espera nas eventuais filas formadas nas vias de aproximação;
- Número médio de veículos nas filas;
- Distribuição de frequências do par O-D.

Esta abordagem se aproxima dos conceitos utilizados na Teoria das Filas que, de acordo com Taha (2008), trata da quantificação do fenômeno da espera em filas usando medidas representativas de desempenho como o comprimento médio de uma fila, o tempo médio de espera em fila e a média de utilização.

O tempo de contorno na rotatória é o tempo despendido pelo veículo para realizar a sua manobra na interseção, partindo de uma via  $i$  e saindo por uma via  $j$ .

O tempo de espera em fila é o montante de tempo em que o veículo permanecerá aguardando até que o trecho  $k$ , correspondente ao seu acesso à rotatória para o início da manobra, esteja disponível. Neste trabalho, esta medida foi obtida diretamente da simulação do modelo, representando, portanto, apenas uma estimativa. Este tempo ainda pode ser obtido por meio de coleta direta de dados.

O significado do número médio de veículos em fila está em seu próprio nome. No presente trabalho esta medida será apenas ilustrada, não cabendo comentários a cerca de suas variações.

Por fim, a distribuição de frequências O-D representará quais são as vias de aproximação responsáveis por escoar o maior volume do fluxo de veículos na rotatória.

A comparação dessas grandezas por meio da análise dos cenários permitirá identificar quanta demanda será exigida da rotatória na medida em que se incrementa o fluxo veicular, embora seja esperado que o aumento do fluxo implique acréscimo em algumas das medidas propostas, como o tamanho médio de filas, por exemplo.

## 3. Análise dos resultados

### 3.1. Modelo

Por meio da ferramenta *Input Analyzer* do Arena, foi possível determinar as funções de probabilidade e seus respectivos parâmetros para o intervalo entre chegadas de cada rua, sendo essas definidas como: Lognormal para as ruas 1, 2, 3 e 6; Exponencial para as vias 4 e 5.

As replicações do modelo resultaram em uma média de 959 veículos circulantes na rotatória para o período de 01 (uma) hora. Este valor aproxima-se do total de observações realizadas na fase de coleta de dados, indicando que o modelo está consistente. As tabelas de 1 a 4 apresentam os resultados da simulação, extraídos do relatório do Arena 13.0:

Tabela 1 - Tempo (em s) gasto em manobra pelos veículos provenientes da via i.

Tempo de manobra (s) – Via i	Tempo Médio (s)	Média Mínima (s)	Média Máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo (s)
1	18,00	17,00	18,00	11,00	23,00
2	19,00	19,00	19,00	14,00	22,00
3	16,00	16,00	17,00	11,00	23,00
4	16,00	16,00	17,00	12,00	24,00
5	15,00	14,00	15,00	13,00	20,00
6	15,00	14,00	15,00	11,00	22,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 2 - Tempos de espera em fila para as vias de aproximação.

Tempo de fila (s) – Via i	Tempo Médio (s)	Média Mínima (s)	Média Máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo (s)
1	0,12	0,09	0,16	0,00	3,22
2	3,18	2,29	5,13	0,00	36,30
3	2,34	1,87	3,72	0,00	29,87
4	3,45	2,51	4,89	0,00	40,58
5	2,28	1,82	2,85	0,00	27,08
6	0,74	0,62	0,95	0,00	13,78

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 3 – Número de veículos na fila da via i.

Veículos na fila (nº) – Via i	Média	Média mínima	Média máxima	Valor mínimo	Valor máximo
1	0,01	0,01	0,01	0,00	2,00
2	0,12	0,09	0,19	0,00	3,00
3	0,10	0,07	0,14	0,00	4,00
4	0,10	0,06	0,15	0,00	4,00
5	0,06	0,04	0,07	0,00	2,00
6	0,05	0,04	0,07	0,00	3,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 4 - Frequência de destino dos veículos.

Via de destino (nº)	Média	Média mínima	Média máxima
5	75,58	69,00	95,00
1	200,08	170,00	224,00
2	150,92	130,00	167,00
4	79,58	59,00	91,00
3	141,50	117,00	158,00
6	311,75	283,00	356,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

A Tabela 1 mostra os tempos médios, máximos e mínimos que os veículos gastam para realizarem o contorno na rotatória e saírem em seus respectivos destinos. Percebe-se que, em média, os veículos provenientes das vias de aproximação 1 e 2 possuem os maiores tempos de manobra, 18s e 19s respectivamente. Para ambas as vias, a explicação para este tempo acima dos demais deve-se ao fato de que, como os destinos mais frequentes (vide Tabela 4) são o 6 e o 1, maior é o trajeto percorrido pelos veículos, elevando então o tempo médio.

A Tabela 2, por sua vez, descreve os tempos de espera em filas nas seis vias, sendo que as de número 4 e 2 possuem os maiores valores, 3,45s e 3,18s, chegando a valores máximos de 40,58s e 36,30s, respectivamente. Conforme pode ser visto no mapa da Figura 1, a via de número 2 é secundária, além de fornecer um menor fluxo de utilização. Por outro lado, a via 4, mesmo sendo principal, acumula valores elevados de espera em fila. Esse fenômeno pode ser observado empiricamente; um dos fatores explicativos deve ser a presença (não validada) de uma via de alto fluxo adjacente à esquerda.

A Tabela 3 ilustra o número médio de veículos em fila para cada via de aproximação, e a Tabela 4 indica os destinos mais frequentes.

### 3.2. Cenário 1

Para o primeiro cenário, considerou-se um decréscimo de 10% nos parâmetros das funções que representam o intervalo entre chegadas de veículos para as três vias de aproximação com o maior fluxo, ou seja, 1, 3 e 6. Esta diminuição dos parâmetros constitui uma situação na qual a função de probabilidade que modela o intervalo entre chegadas para as vias (neste caso, a Lognormal) permanece a mesma, reduzindo-se somente o tempo médio entre a chegada de dois veículos quaisquer.

As replicações para o Cenário 1 forneceram uma média de 1009 veículos circulantes, contra os 959 obtidos para o modelo padrão, um aumento esperado dada a modificação negativa dos parâmetros. Os resultados extraídos do relatório do Arena 13.0 estão dispostos nas Tabelas de 5 a 8:

Tabela 5 - Tempo (em s) gasto em manobra pelos veículos provenientes da via i.

Tempo de manobra (s) – Via i	Tempo Médio (s)	Média mínima (s)	Média máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo (s)
1	17,89	17,42	18,61	10,65	23,36
2	19,08	18,53	19,43	14,41	22,05
3	16,47	16,33	16,64	10,81	22,86
4	16,44	15,85	16,83	11,64	23,68
5	14,64	14,27	15,05	13,10	20,40
6	14,62	14,26	14,97	11,43	22,05

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 6 - Tempos de espera em fila para as vias de aproximação.

Tempo de fila (s) – Via i	Tempo médio (s)	Média mínima (s)	Média máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo (s)
1	0,10	0,06	0,15	0,00	3,95



2	4,05	3,23	5,75	0,00	43,62
3	2,72	1,43	3,56	0,00	30,19
4	3,60	2,60	4,12	0,00	37,99
5	2,36	1,40	2,89	0,00	20,95
6	0,78	0,56	1,07	0,00	16,66

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 7 - Número de veículos na fila da via i.

Veículos na fila (nº) – Via i	Média	Média mínima	Média máxima	Valor mínimo	Valor máximo
1	0,01	0,01	0,01	0,00	2,00
2	0,15	0,11	0,21	0,00	4,00
3	0,12	0,06	0,16	0,00	6,00
4	0,09	0,07	0,12	0,00	3,00
5	0,06	0,03	0,07	0,00	3,00
6	0,06	0,04	0,08	0,00	3,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 8 - Frequência de destino dos veículos.

Via de destino (nº)	Média	Média mínima	Média máxima
5	80,58	67,00	102,00
1	206,25	177,00	232,00
2	151,08	128,00	164,00
4	89,16	75,00	100,00
3	152,17	128,00	191,00
6	329,25	292,00	354,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Pode-se perceber que neste cenário as vias 1 e 2 ainda permanecem com os maiores tempos de contorno na rotatória. De forma análoga ao modelo, no cenário 1 os destinos mais frequentes também serão as vias 6 e 1, recebendo médias de 329 e 206 veículos (Tabela 8), respectivamente. Tem-se ainda que o destino para a via 2 foi o que recebeu o menor incremento, passando de 150,92 para 151,08 veículos, em média (vide Tabelas 4 e 8).

Da mesma forma, as vias 4 e 2 mantiveram os maiores tempo de esperam em fila, sendo que a última registrou o maior aumento em relação às demais (de 3,18s para 4,05s), e a via 1 foi a única que registrou queda no tempo médio de espera em fila (de 0,12s para 0,10s).

## 3.2. Cenário 2



Por fim, no segundo cenário, optou-se por reduzir os parâmetros das distribuições dos intervalos entre chegadas das mesmas vias 1, 3 e 6 em 20%, ou seja, 10,93% de redução em relação ao cenário 1.

As replicações para o cenário 2 forneceram uma média de 1101 veículos circulantes em 01 (uma) hora de simulação, representando um aumento efetivo de 14,81% no fluxo de tráfego da rotatória. As Tabelas de 9 a 12 mostram os dados obtidos do relatório de saída do Arena 13.0:

Tabela 9 - Tempo (em s) gasto em manobra pelos veículos provenientes da via i.

Tempo de manobra (s) – Via i	Média (s)	Média mínima (s)	Média máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo(s)
1	17,87	17,43	18,25	10,66	23,36
2	19,17	18,78	19,45	14,41	22,05
3	16,53	16,38	16,76	10,81	22,86
4	16,50	15,94	16,82	11,64	23,69
5	14,68	14,46	15,02	13,10	20,41
6	14,56	14,21	14,91	11,43	22,05

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 10 - Tempos de espera em fila para as vias de aproximação.

Tempo de fila (s) – Via i	Média (s)	Média mínima (s)	Média máxima (s)	Valor mínimo (s)	Valor máximo (s)
1	0,14	0,11	0,17	0,00	4,09
2	4,46	3,32	5,99	0,00	47,07
3	3,31	2,21	5,10	0,00	37,83
4	3,98	2,78	4,74	0,00	53,85
5	2,83	1,95	3,88	0,00	32,45
6	1,06	0,90	1,31	0,00	24,21

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 11 - Número de veículos na fila da via i.

Veículos na fila (nº) – Via i	Média	Média mínima	Média máxima	Valor mínimo	Valor máximo
1	0,01	0,01	0,01	0,00	2,00
2	0,17	0,10	0,23	0,00	5,00
3	0,17	0,12	0,31	0,00	7,00
4	0,11	0,08	0,13	0,00	3,00
5	0,07	0,05	0,09	0,00	3,00
6	0,09	0,07	0,12	0,00	6,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Tabela 12 - Frequência de destino dos veículos.

Via de destino (nº)	Média	Média mínima	Média máxima
5	81,58	64,00	91,00
1	227,67	210,00	248,00
2	174,17	160,00	193,00
4	97,00	75,00	116,00
3	173,58	149,00	199,00
6	346,75	301,00	381,00

Fonte: (Pesquisa direta, 2010).

Neste último cenário, as vias 1 e 2 ainda continuam com os maiores tempos de contorno (Tabela 9), enquanto que as demais apresentaram um incremento de tempo pouco significativo. Esse resultado sugere que, no modelo estudado e para os cenários propostos, um aumento no fluxo de veículos circulantes na rotatória possui pouca ou nenhuma interferência no tempo de manobra na rotatória. Os destinos mais frequentes ainda continuam para as vias 6 e 1 que, de acordo com os dados coletados, são as vias de maior impacto em termos de fluxo veicular. Em relação aos resultados do modelo validado, o destino para a via 5 foi o que recebeu o menor incremento, passando de 75 para 81 veículos (Tabelas 4 e 12).

Com relação ao tempo de espera em fila, as vias 2 e 4 permanecem com os maiores valores, registrando médias de 4,46s e 3,98s, chegando a picos de até 47s e 53s, respectivamente. Além disso, as outras vias também tiveram aumentos significativos dos seus tempos em fila, à exceção da via 1, que praticamente não variou.

O aumento nos parâmetros avaliados dentro dos dois cenários já era esperado. Entretanto, cabe ressaltar que a dinâmica desse incremento deve ser acompanhada com a ajuda de análises que permitam quantificar, prever e/ou identificar as condições a partir das quais o tráfego na região analisada se torne crítico. Neste contexto, a simulação desempenha seu papel como uma ferramenta crucial no auxílio ao diagnóstico e ao acompanhamento dessa evolução.

## 4. Considerações finais

A elaboração deste estudo possibilitou o aprofundamento teórico e prático dos aspectos relativos ao planejamento das malhas de tráfego urbanas, sobretudo em trechos onde há pontos críticos. Por meio da revisão teórica sobre o tema abordado neste trabalho foi possível perceber como as variáveis relacionadas ao tráfego urbano em interseções (risco de acidentes, segurança de pedestres e veículos, aspectos ambientais e operacionais) são tratadas nas análises de simulação de tráfego. A simulação da rotatória em questão indica uma relativa subutilização que necessita ser validada através da elaboração de outros cenários, levando-se em consideração situações como a variação da velocidade interna de contorno ou aumento dos fluxos veiculares nas vias secundárias. Para trabalhos futuros, sugerem-se investigações mais detalhadas sobre os fatores condicionantes da rotatória tais como suas limitações geográficas ou geometria, aplicando ao modelo novas formas geométricas possíveis de serem implementadas e comparando-as com a configuração atual.

Em suma, o trabalho desenvolveu-se fundamentado no conhecimento das diversas abordagens disponíveis no campo da pesquisa e do planejamento das interseções em malha urbana, culminando em uma aplicação real cujo resultado demonstra que o aumento do fluxo veicular carece, em termos gerais, de um planejamento sistematizado do tráfego urbano; especificamente, percebe-se que, para aumentos significativos do fluxo veicular no bairro onde a rotatória está localizada, ainda não há uma preocupação emergencial que busque o seu redimensionamento.

## Referências

- Akçelik, R.** (2008), An investigation of the performance of roundabouts with metering signals, *TRB National Roundabout Conference*, <http://www.teachamerica.com/rab08/ListMenu.html>, 5, 2010.
- Bessa Júnior, J. E., Neto, F. M. O., Paula, F. S. M. e Loureiro, C. F. G.** (2006). Avaliação de intervenções em interseção do tipo rotatória usando o simulador INTEGRATION, *XX ANPET Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, [http://www.redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/junior\\_paula\\_netto\\_loureiro\\_ANPET2006](http://www.redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/junior_paula_netto_loureiro_ANPET2006), 5, 2010.
- Bertoncini, B. V. e Demarchi, S. H.** (2005), Impacto nas medidas de desempenho operacional devido a substituição de interseção semaforizada por rotatória, *XIX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/substituicao-de-intersecao-semaforizada-por-rotatoria>, 5, 2010.
- Bie, J., Wong, S. C., Loo, B. P. Y., Lo, H. K. e Hung, W. T.** (2005), Safety analysis of traffic roundabouts: conventional versus Alberta-type markings, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 6, pp. 3309-3324.
- Dixon, M. P., Kyte, M., Cooley, H., Abdel-Rahim, A. e Rust, P.** (2007), Field evaluation of roundabout turning movement estimation procedures, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Reston, v. 133, 138-146.
- Gallelli, V. e Vaiana, R.** (2008), Roundabout intersections: evaluation of geometric and behavioural features with Vissim, *TRB National Roundabout Conference*, <http://www.teachamerica.com/rab08/ListMenu.html>, 5, 2010.
- Lima, E. P., Bertochini, B. V. e Gimenes, M. L.** (2009), Estudo do uso de rotatórias na redução da concentração de monóxido de carbono de origem veicular, *II Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana*, ISSN 2175-3695.
- Manage, S. Suzuki, K. e Nakamura, H.** (2003), Performance analysis of roundabouts as an alternative for intersection control in Japan, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 5, 871-882.
- Mandavilli, S.** Evaluation of the Road Diet concept and comparison to the operational performance of a single-lane modern roundabout and a traffic signal, 2002, 85f. Tese (Master of Science) – College of Engineering, Department of Civil Engineering, Kansas State University, Manhattan.
- Taha, H. M.** *Pesquisa Operacional*, Prentice Hall, São Paulo, 2008.
- Tarko, A. e Lyles, R.** (2001), Using flow conservation and data redundancy to estimate turning flows at intersections, *80<sup>th</sup> Annual Transportation Research Board*, <http://www.teachamerica.com/rab08/ListMenu.html>, 5, 2010.