

# IMPACTO NAS MEDIDAS DE DESEMPENHO OPERACIONAL DEVIDO À SUBSTITUIÇÃO DE INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA POR ROTATÓRIA

**Bruno Vieira Bertoncini**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Transportes

**Sergio Henrique Demarchi**

Universidade Estadual de Maringá  
Departamento de Engenharia Civil  
Grupo de Engenharia de Transportes

## RESUMO

O propósito deste trabalho é avaliar modificações nas medidas de desempenho operacional ao substituir uma interseção semaforizada por uma rotatória como elemento de controle do cruzamento entre as avenidas Cerro Azul e Juscelino Kubitschek, na cidade de Maringá, PR. As medidas de desempenho foram obtidas através de simulação de ambos os elementos de tráfego, utilizando o simulador INTEGRATION. Os resultados indicaram que a implantação da rotatória contribuiu efetivamente para a redução do tamanho das filas, do tempo de percurso e do atraso. Além disto, este trabalho permitiu definir alguns parâmetros de calibração que poderão ser utilizados em simulações envolvendo outras rotatórias.

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate changes in operational measures of effectiveness due to the construction of a roundabout in place of a signalized intersection as the traffic control element for the intersection of Cerro Azul and Juscelino Kubitschek avenues, in the city of Maringá, PR. The measures of effectiveness were estimated by means of simulation of both facilities, using INTEGRATION. Results indicate that the roundabout effectively contributed for the reduction of the length of queues, travel time and delay. Another contribution of this paper is the definition of calibration parameters which may be used for the simulation of other roundabouts.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema viário urbano é formado por vias de diferentes características que, em virtude de sua disposição, interceptam-se em diversos pontos. As interseções entre as vias são locais que merecem atenção especial dentro do contexto de gerenciamento do tráfego urbano, pois nestes locais existe uma série de conflitos potenciais que, eventualmente, resultam em acidentes caso o tipo de controle de tráfego estabelecido para o local não seja o mais adequado.

Para que existam fluidez e segurança do tráfego no local, faz-se necessária a implantação de elementos de controle como placas, semáforos, rotatórias ou até mesmo intervenções maiores como rebaixamento viário e utilização de viadutos, dentre outros. Conforme a localização, os tipos de vias e a quantidade de veículos que circulam por estas, existe um tratamento mais indicado, visando o ordenamento dos fluxos de tráfego e a segurança dos motoristas e pedestres.

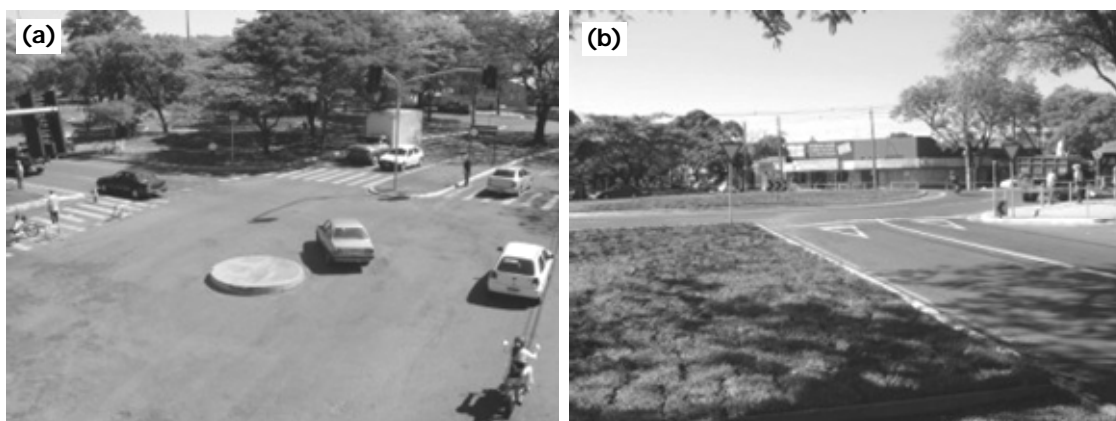
No ano de 2004, técnicos da Secretaria de Transportes de Maringá (SETRAN) defrontaram-se com uma dessas questões, em que era necessário analisar qual o melhor tipo de elemento de controle do tráfego a ser utilizado na interseção entre a Av. Cerro Azul e a Av. Juscelino Kubitschek. Nesta época, a interseção era controlada por um semáforo que, em virtude do volume de tráfego no local, não apresentava desempenho operacional satisfatório, resultando na formação de filas e atrasos aos motoristas. Dessa maneira, foi decidido pela substituição da

interseção semaforizada por uma rotatória de diâmetro reduzido.

A decisão de substituir a interseção semaforizada pela rotatória foi tomada muito mais em função da experiência prática com o uso de praças rotatórias na cidade de Maringá, sem considerar, no entanto, a possibilidade de realizar uma análise prévia do impacto desta substituição a partir de simulação. Este aspecto motivou a elaboração desta comunicação técnica, cujo objetivo é analisar o impacto causado pela substituição da interseção semaforizada entre as Avs. Cerro Azul e Juscelino Kubitscheck pela rotatória, tomando como base as medidas de desempenho geradas pelo simulador de tráfego INTEGRATION para ambos os cenários. Para isso, o trabalho encontra-se dividido em 4 itens, contando com esta introdução. No item 2 são apresentados detalhes sobre o cruzamento em estudo e sobre o processo de codificação dos arquivos de dados e calibração do simulador para ambos os tipos de interseção. No item 3 é feita a análise comparativa dos resultados e, por fim, no item 4 são feitas as considerações finais.

## 2. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS CENÁRIOS

A Figura 1 mostra fotos do cruzamento entre a Av. Cerro Azul, que liga diversos bairros à região central, na direção Norte-Sul, e Av. Juscelino Kubitscheck (Av. JK), que faz a ligação bairro-centro e vice-versa na direção Leste-Oeste. Na Figura 1a é mostrado o cruzamento controlado por semáforo e, na Figura 1b, é mostrado o mesmo cruzamento após a implantação da rotatória.



**Figura 1:** Cruzamento das Avenidas Cerro Azul e Juscelino Kubitscheck:  
(a) interseção semaforizada; (b) rotatória

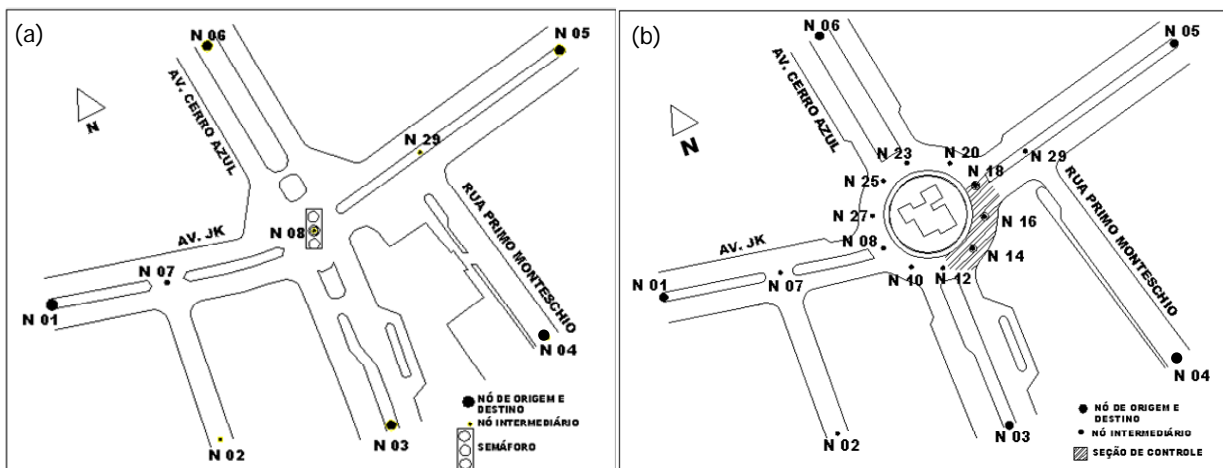
A operação de ambos os dispositivos foi avaliada através do simulador INTEGRATION, cujos arquivos de dados foram codificados conforme os procedimentos apresentados no item 2.1. O processo de calibração dos parâmetros da relação fluxo-velocidade para os arcos das redes simuladas é descrito no item 2.2.

### 2.1. Codificação dos Arquivos de Dados do INTEGRATION

Ambas as configurações foram simuladas com o simulador INTEGRATION, calibrado de acordo o procedimento descrito por Bertoni (2002) e Bertoni *et al.* (2004). A partir da base geométrica disponível em formato em AutoCad (\*.dwg), foi feita a identificação e numeração dos nós, seguida da numeração dos arcos. Para a interseção semaforizada, foram definidos 9 nós, sendo 4 de origem-destino e 5 intermediários, 15 arcos e um semáforo, conforme é mostrado na Figura 2a. Para a rotatória, foram considerados 18 nós (4 nó de origem-destino e 14

nós intermediários) e 24 arcos e 4 placas do tipo “Dê a Preferência”, conforme indicado na Figura 2b. Em seguida, foram codificadas as informações sobre a operação do semáforo, tais como a duração do ciclo de 101s, bem como a seqüência e a duração dos verdes de cada fase:

- Fase 1: 32 s de verde e 3 s de amarelo para ambas as aproximações da Av. Cerro Azul;
- Fase 2: 30 s de verde e 3 s de amarelo para a aproximação Oeste da Av. JK; e
- Fase 3: 30 s de verde e 3 s de amarelo para a aproximação Leste-Oeste da Av. JK.



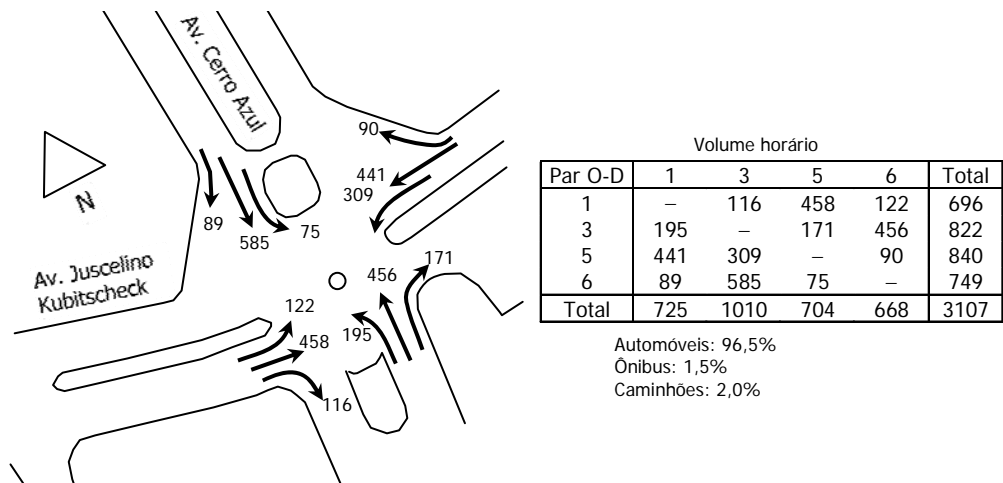
**Figura 2:** Elementos geométricos das simulações: (a) interseção semaforizada; (b) rotatória

Além das informações referentes à geometria e ao controle do tráfego, foi necessário definir uma matriz origem-destino de viagens. Para isso, as quantidades de veículos entre diferentes pares O-D foram obtidos através de filmagem, utilizando uma filmadora digital Sony e tripé, posicionados em um caminhão com plataforma e braço mecânico, utilizado para manutenção de semáforos, cujo alcance é de 9,00 m na vertical. Este caminhão foi posicionado de forma que o foco da filmadora conseguisse capturar todos os movimentos existentes na interseção.

A filmagem foi realizada no dia 29/07/2004, no período de 17:30 às 18:10, período este considerado de pico pela Secretaria de Transportes de Maringá. Nesta coleta, após ser feita a captura do vídeo e sua análise, foram observados 2070 veículos para um período de 40 min, sendo 96,5% de automóveis, 1,5% de ônibus e 2,0% de caminhões. Estas quantidades foram convertidas para volumes horários, apresentados na Figura 3.

## 2.2. Calibração e Validação de Parâmetros da Relação Fluxo-Velocidade

Após a codificação dos arquivos de dados, foi feita a calibração dos parâmetros da relação fluxo-velocidade para os arcos das redes. A densidade de congestionamento (165 cpe/km/faixa), a velocidade de fluxo livre (58 km/h), a velocidade na capacidade (27 km/h) e a capacidade dos arcos (2115 cpe/h/faixa) foram adotados do estudo de Collella *et all.* (2004), considerando que tais parâmetros foram calibrados a partir de dados de campo obtidos próximos à interseções semaforizadas e representam adequadamente o comportamento dos veículos na interseção entre as Avs. Cerro Azul e Juscelino Kubitschek. Esta consideração é válida na medida em que as filas formadas durante a simulação eram similares às observadas em campo.



**Figura 3:** Volumes horários por tipo de movimento

Entretanto, ao utilizar os parâmetros mencionados para calibrar a relação fluxo-velocidade para os arcos da rotatória, os resultados obtidos não foram compatíveis com observações em campo, obtidas de outra filmagem realizada no período de 17:30 h às 18:10 h do dia 28/10/2004, após a implantação da rotatória, indicando a necessidade de recalibrar os parâmetros para os arcos que compõem a rotatória (entre nós 8 a 17). Desta filmagem foram selecionados aleatoriamente 6 veículos que circularam no trecho de controle compreendido entre os nós 12 e 18, conforme é mostrado na Figura 2b. Sendo conhecida a distância entre estes pontos, foi possível medir o tempo de percurso desses veículos, calcular suas respectivas velocidades médias e compará-las com as obtidas em diversas simulações realizadas.

Em cada uma das simulações realizadas para as comparações, a velocidade de fluxo livre e a capacidade dos arcos da rotatória foram sendo reduzidas gradativamente de seus valores iniciais. Deve ser observado que não existem no INTEGRATION elementos específicos para a modelagem da rotatória, sendo necessário apenas especificar os parâmetros da relação fluxo-velocidade para cada um dos arcos que compõem a mesma. O comportamento durante as manobras de convergência, divergência ou entrelaçamento entre veículos resultam de forma emergente da lógica interna do próprio simulador.

Ao final desse processo iterativo, a velocidade de fluxo livre foi reduzida de 58 para 40 km/h e a capacidade dos arcos da rotatória foi reduzida de 2115 para 1600 cpe/h/faixa. Esses novos valores de parâmetros, juntamente com os valores da velocidade na capacidade e a densidade de congestionamento, que foram mantidos inalterados, permitiram que o INTEGRATION representasse de uma forma mais realista as velocidades médias observadas em campo.

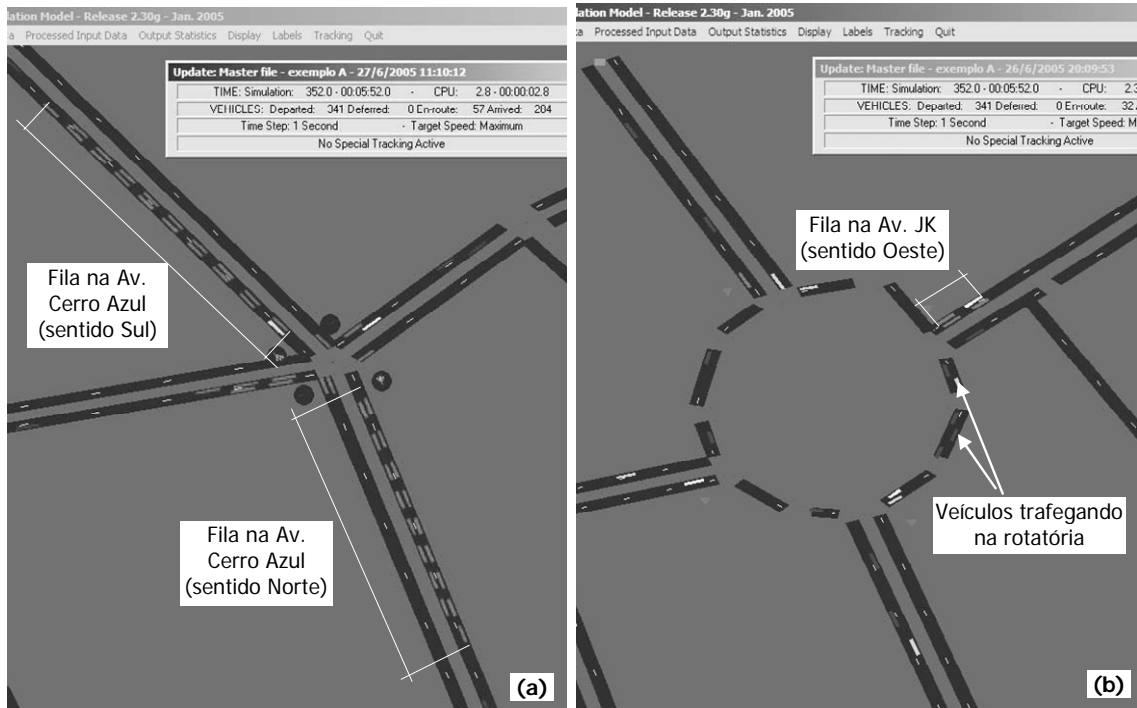
### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para a interseção semaforizada e para a rotatória foram então comparados de três maneiras distintas. Inicialmente, foram comparadas visualmente as filas formadas em ambos os cenários (item 3.1). Em seguida, as medidas de desempenho globais foram analisadas (item 3.2) e, por fim, foram comparados os resultados desagregados por par origem-destino (item 3.3).

#### 3.1. Análise da Formação de Filas

Conforme mencionado, a primeira análise dos resultados consistiu na comparação visual das

filas formadas junto à faixa de retenção, no caso da interseção semaforizada, ou nas aproximações de entrada na rotatória. A Figura 4a mostra, como exemplo, as filas formadas na Av. Cerro Azul 352 s após o início da simulação e Figura 4b mostra a fila existente na Av. Juscelino Kubitscheck (sentido Oeste) no mesmo instante. Nota-se que as filas praticamente não existem na rotatória, sendo o mesmo padrão observado durante o restante da simulação.



**Figura 4:** Filas (a) na interseção semaforizada e (b) na rotatória aos 352 s de simulação

### 3.2. Análise das Medidas de Desempenho Gerais

Em seguida, os resultados médios gerais, apresentados na Tabela 1, foram comparados de maneira a obter uma análise do desempenho operacional médio de ambos os cenários durante os 3600 s de simulação. É possível verificar que, mesmo que os veículos tenham que percorrer em média uma distância 28% maior na rotatória do que na interseção semaforizada, o tempo médio de percurso é reduzido para menos da metade do tempo estimado para a interseção semaforizada (57,1 s para 25,5 s). Isso se deve ao fato que os atrasos, especialmente aqueles decorrentes de paradas, são praticamente eliminados ao se substituir o controle semaforizado por placas do tipo “Dê a Preferência” (redução de 31,4 s para 0,4 s).

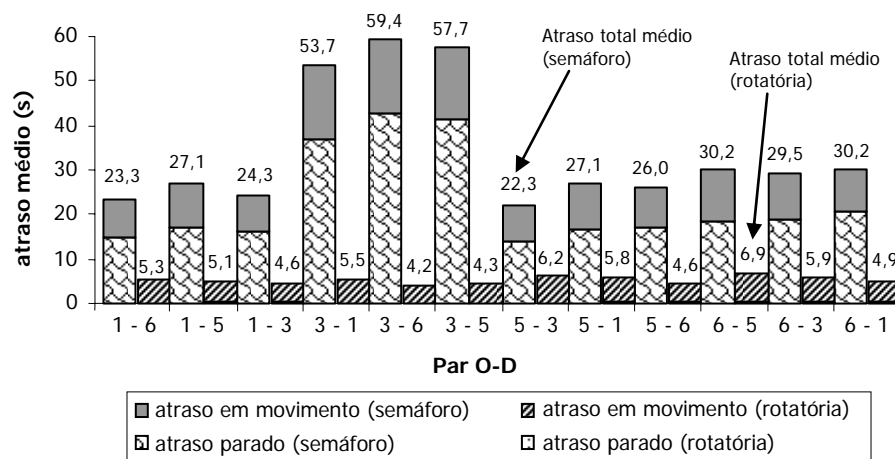
A Tabela 1 também mostra uma redução de 27% no consumo médio de combustível, uma redução entre 15 a 27% na emissão de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono para a rotatória, mas um acréscimo de 7% na emissão de óxidos de nitrogênio, o que pode ser explicado em virtude do aumento da velocidade média estimada para a rotatória. Porém, é importante observar que os valores absolutos dos níveis de emissão obtidos não devem ser explicitamente considerados, pois o modelo de emissões do INTEGRATION ainda não foi calibrado para os veículos brasileiros. Dessa maneira, somente os percentuais de redução ou acréscimo devem ser considerados como indicadores aproximados do melhor desempenho da rotatória em relação à interseção semaforizada, sob o ponto de vista ambiental.

**Tabela 1:** Resumo geral dos resultados da simulação para cada caso

| Medidas de desempenho médias        | Interseção semaforizada | Rotatória | Percentual de aumento ou de Redução |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------|
| distância percorrida (m)            | 197                     | 253       | 28%                                 |
| número de paradas                   | 0,69                    | 0,55      | -20%                                |
| tempo de percurso (s)               | 57,1                    | 25,5      | -55%                                |
| atraso (s)                          | 43,1                    | 7,3       | -83%                                |
| atraso parado (s)                   | 31,4                    | 0,4       | -99%                                |
| atraso em movimento (s)             | 11,7                    | 6,9       | -41%                                |
| consumo de combustível (l)          | 0,04                    | 0,03      | -27%                                |
| emissão de hidrocarbonetos (g)      | 0,007                   | 0,006     | -15%                                |
| emissão de monóxido de carbono (g)  | 0,173                   | 0,137     | -21%                                |
| emissão de óxidos de nitrogênio (g) | 0,022                   | 0,023     | 7%                                  |
| emissão de dióxido de carbono (g)   | 89,301                  | 65,456    | -27%                                |

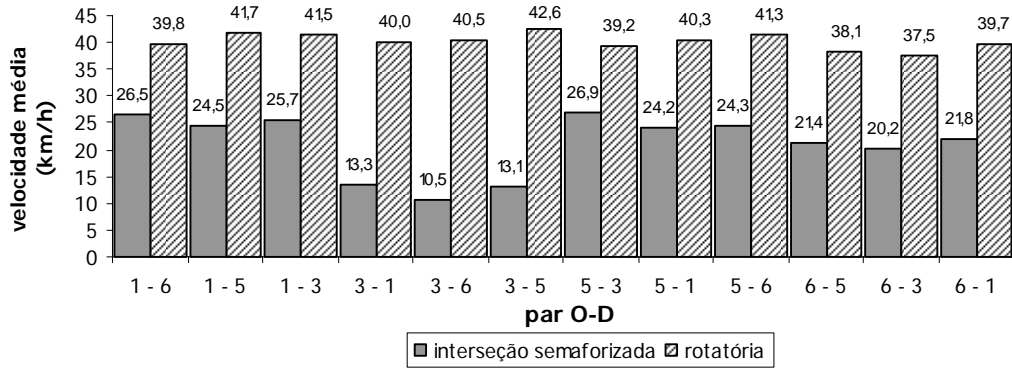
### 3.3. Análise das Medidas de Desempenho para Diferentes Pares O-D

Além da análise global, foram feitas análises desagregadas por pares origem-destino, sendo as medidas de desempenho obtidas a partir do monitoramento de veículos nas simulações. A Figura 5 compara os atrasos médios, que refletem a parcela de tempo em que os veículos trafegam com velocidades menores que a velocidade de fluxo livre. Este atraso é decomposto em duas parcelas, também mostradas na Figura 5. A primeira delas refere-se ao tempo em que os veículos permanecem parados, enquanto que a segunda parcela é o atraso em movimento, ou seja, a diferença entre o atraso global e o atraso parado. É possível notar que a redução no atraso estimado para a rotatória ocorre principalmente em função da redução significativa no atraso parado – no caso da interseção semaforizada, o atraso parado varia entre 13,9 e 43,0 s, enquanto que na rotatória o atraso parado varia entre 0,1 e 0,4 s.

**Figura 5:** Atrasos médios estimados para cada um dos pares O-D

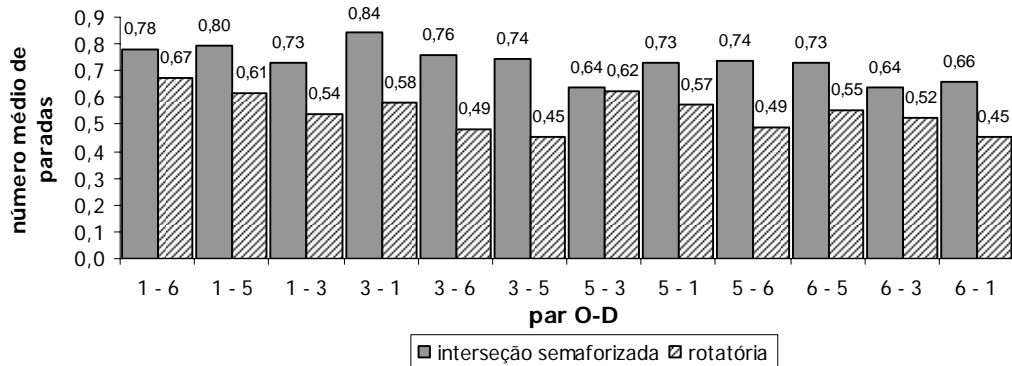
A redução dos atrasos fez com que as velocidades médias estimadas para a rotatória sejam maiores que as obtidas para a interseção semaforizada, conforme mostra a Figura 6. As velocidades médias estimadas para a interseção controlada por semáforo variam entre 10,5 e 26,9 km/h e, para a rotatória, variam entre 37,5 a 42,6 km/h. Em média, existe um aumento de 95% na velocidade estimada para a rotatória em relação à interseção semaforizada.

Também é possível constatar, a partir da análise das Figuras 5 e 6, que as maiores reduções no atraso e aumento da velocidade média ocorrem para os veículos provenientes do ponto de origem 3, refletindo o fato que a programação semaforizada adotada para a interseção era inadequada para o volume de tráfego que circula pela Av. Cerro Azul.



**Figura 6:** Velocidades médias estimadas para cada um dos pares O-D

A Figura 7 compara o número médio de paradas, estimadas em função da redução de velocidade do veículo durante intervalos de tempo da simulação. Dado que o INTEGRATION considera como uma parada completa a redução da velocidade de fluxo livre até 0 km/h, as médias mostradas na Figura 7 indicam que nem todos os veículos param nas aproximações da interseção semaforizada ou da rotatória. Com exceção das viagens entre 5 e 3, todos os outros pares O-D apresentam uma redução significativa no número médio de paradas.



**Figura 7:** Número médio de paradas estimadas para cada um dos pares O-D

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das medidas de desempenho obtidas por simulação demonstra que, do ponto de vista operacional, a decisão de substituir a interseção semaforizada pela rotatória foi acertada, resultando em uma redução de 55% no tempo médio de percurso, 20% no número médio de paradas, 83% no atraso global e 27% de consumo de combustível.

Mesmo que as simulações do desempenho operacional tenham sido realizadas somente após a implantação da rotatória e os resultados da análise não tenham contribuído para a tomada de decisão sobre implantação ou não deste dispositivo, os resultados serviram como validação da decisão tomada. Além disso, o processo de calibração do simulador INTEGRATION para rotatórias resultou em um conjunto de parâmetros que poderiam, eventualmente, servir de base para

a simulação de outras rotatórias similares.

É importante lembrar que a análise comparativa entre rotatória e interseção semaforizada não deve ficar restrita à questão do desempenho operacional. Sendo assim, seria recomendado analisar também aspectos relativos à segurança veicular e de pedestres, complementando a análise iniciada neste trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bertoncini, B. V. (2002) Calibração do Simulador INTEGRATION para a Rede Viária da Região Central de Maringá. Relatório de projeto de iniciação científica (PIC). Departamento de Engenharia Civil, UEM, Maringá, PR.
- Bertoncini, B. V.; Demarchi, S. H.; Lima, E. P. (2004) Estimativa de uma Matriz O-D Sintética para a Região Central de Maringá utilizando o QUEENSOD. In: XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis, SC. *Anais do XVIII ANPET*. Rio de Janeiro, RJ: Lagoa, 2004. v. 2, p. 844-855.
- Colella, D. A. T.; Lima, E. P.; Demarchi, S. H.; (2004) Calibração e Validação do Modelo Fluxo-velocidade do INTEGRATION para Vias Urbanas Semaforizadas. In: XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis, SC. *Anais do XVIII ANPET*. Rio de Janeiro, RJ: Lagoa, 2004. v. 1, p. 453-464.

### **Endereço dos autores:**

Bruno Vieira Bertoncini (bruviber@gmail.com)  
Engenheira Civil, aluno de graduação em 2004

Sergio Henrique Demarchi (shdm@terra.com.br)  
Professor Adjunto, Depto. de Engenharia Civil

Universidade Estadual de Maringá – UEM  
Av. Colombo, 5790 - Bloco C67  
87020 - 900 – Maringá, PR, Brasil  
fone: (044) 261-4322  
fax: (044) 261-4322