

AVALIAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM INTERSEÇÃO DO TIPO ROTATÓRIA USANDO O SIMULADOR INTEGRATION

José Elievam Bessa Júnior
Francisco Moraes de Oliveira Neto
Francisco Suliano Mesquita Paula

Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN
Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO

A implantação de uma grande rotatória em Fortaleza, no encontro entre uma rodovia (BR-116), duas vias arteriais urbanas (Av. Aguanambi e Av. Eduardo Girão) e duas vias locais, com um total de seis aproximações, tem causado conflitos graves de entrelaçamento, resultando em acidentes e elevados níveis de atraso. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar alternativas de intervenções físicas e operacionais para resolver os problemas de conflitos na rotatória com o uso do simulador de tráfego INTEGRATION. Foram avaliadas duas alternativas de intervenção envolvendo a implantação de semáforos ou a construção de um viaduto para escoar o principal fluxo veicular da rotatória. A operação semaforizada da rotatória foi também testada por meio de simulações em campo, possibilitando a validação dos resultados obtidos com a simulação computacional.

ABSTRACT

The implementation of a large roundabout in Fortaleza, in the intersection of a highway (BR-116), two arterial streets (Av. Aguanambi e Av. Eduardo Girão) and two local streets, in a total of six approaches, has caused serious weaving conflicts, resulting in accidents and high delay levels. Therefore, this work had as its main objective to evaluate physical and operational alternatives to solve the roundabout's conflicting problems with the use of INTEGRATION traffic simulator. Two alternatives were evaluated considering the installation of traffic signals and the construction of a two-level interchange to get the main vehicular flow out of the roundabout. The signalized operation within the roundabout was also tested through field simulation, allowing the validation of the results of the computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Os três dispositivos rodoviários em nível tipo rotatória ou semi-rotatória empregados no Brasil são: 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, 2003). Podemos citar também a mini-rotatória, utilizada geralmente em vias urbanas com a finalidade de diminuir a velocidade e os acidentes ocorridos em determinado local. Este trabalho trata de uma problemática envolvendo uma interseção do tipo rotatória com prioridade para a via circular. Nesse tipo de dispositivo tem-se uma ilha central em que os veículos giram no sentido anti-horário. São utilizados sinais de “Dê a Preferência” nas aproximações da rotatória, caso em que o motorista pára ou reduz a velocidade. Assim, a passagem pela interseção depende de um intervalo crítico entre veículos no fluxo principal, o que é ideal para locais onde os volumes nas aproximações não são elevados, reduzindo a formação de filas e os riscos de acidentes, promovendo uma boa fluidez do tráfego.

Na cidade de Fortaleza, em 2005, foi implantada uma rotatória deste tipo no encontro entre uma rodovia (BR-116), duas vias arteriais urbanas (Av. Aguanambi e Av. Eduardo Girão) e duas vias locais, com um total de seis aproximações. A solução em rotatória para esta interseção complexa foi proposta para substituir a configuração inicial que consistia no controle dos conflitos principais (entre a BR-116 e Av. Aguanambi) por um semáforo e os outros conflitos por sinais de “Dê a Preferência”. Contudo, após a implementação desta

alternativa, o número de acidentes vêm aumentando no local, resultantes dos conflitos de entrelaçamento, assim como tem sido observadas filas excessivas de veículos, especialmente no pico da tarde (entre 17 e 19h) na aproximação norte da interseção. Os problemas mencionados se devem principalmente à geometria concebida para a rotatória, bem como pela predominância do volume de veículos, no período da tarde, que adentram a mesma pela aproximação norte, vindos da Av. Aguanambi para seguirem pela BR-116.

Com isto, foram propostas algumas alternativas para solucionar os problemas diagnosticados, envolvendo a implantação de semáforos ou a construção de um viaduto interligando a Av. Aguanambi à BR-116, esta última com o objetivo de escoar o grande fluxo de tráfego no sentido norte-sul por estas duas vias. Para avaliar estas alternativas de intervenção foram realizadas simulações computacionais com o uso do *software* de micro-simulação de tráfego INTEGRATION (Rakha, 2002a). Portanto, este trabalho tem como objetivo descrever o processo de simulação utilizado e os resultados obtidos na avaliação das alternativas de intervenções analisadas. Além disso, este trabalho também apresenta o esforço de validar em campo os resultados do INTEGRATION para o controle semaforístico na rotatória, a partir de uma operação semaforizada simulada por meio de agentes de trânsito, alternando o direito de passagem nas aproximações norte, sul e leste da rotatória.

2. MODELO DE MICRO-SIMULAÇÃO DO INTEGRATION

O INTEGRATION consiste de um modelo microscópico de simulação do tráfego veicular que busca representar o comportamento de cada veículo individualmente desde a origem até o destino de sua viagem. Para tanto, assume-se que o condutor numa determinada viagem deve tomar uma seqüência de seis decisões, das quais três são tomadas antes de se iniciar a viagem e as demais durante a viagem (Rakha, 2002a). Antes de iniciar a sua viagem, o condutor deve decidir qual será o destino da viagem, qual modo de transporte irá usar e em que momento irá iniciar a viagem. Durante o percurso, o condutor deve decidir qual rota irá utilizar, as mudanças de velocidade e de faixa que irá realizar em cada trecho, além de decidir sobre qual brecha irá aceitar em conflitos com os outros veículos em cruzamentos não controlados por semáforos, assim como em conversões à esquerda não protegidas.

O espaçamento e a velocidade dos veículos num segmento da rede são modelados com base no modelo de fluxo-velocidade proposto por Van Aerde (1995). Neste modelo, o espaçamento entre os veículos é função da sua velocidade, numa relação determinada por quatro parâmetros do tráfego: a velocidade de fluxo livre, a velocidade e o fluxo na capacidade (similar ao fluxo de saturação), e a densidade de congestionamento. Além dos parâmetros da curva fluxo-velocidade, outros parâmetros necessitam ser calibrados para que a dispersão do tráfego possa ser modelada: o coeficiente de variação da velocidade e o percentual de potência máxima utilizada pelos veículos.

O modelo de tráfego do INTEGRATION estima alguns indicadores de desempenho, tais como medidas de atraso, tempo de viagem e número de paradas, que podem ser usadas para calibrar e validar o modelo em campo, assim como para comparar alternativas de intervenção. Recentemente, alguns estudos foram realizados com o objetivo de calibrar o INTEGRATION para refletir melhor as especificidades do tráfego nas vias urbanas brasileiras, podendo-se destacar os esforços realizados: por Demarchi *et al.* (2003) para determinar o valor da densidade de congestionamento; por Colella *et al.* (2004) que calibraram os parâmetros da curva fluxo-velocidade com base em espaçamentos e velocidades de veículos observadas em

campo; e por Colella e Demarchi (2005) que calibraram o modelo fluxo-velocidade com base em tempos de percursos observados em campo.

O INTEGRATION também possui uma rotina de obtenção de matrizes origem/destino (O/D) sintéticas, denominada QUEENSOD (Rakha, 2002b). Esta rotina utiliza como entrada uma matriz semente e fluxos observados em alguns *links* da rede para estimar uma matriz O/D que, uma vez alocada, reproduza as condições de fluxo observadas em campo. No caso de redes pequenas, com poucas opções de rotas, acredita-se que a solução ótima gerada pela rotina represente uma boa aproximação da matriz de viagens real.

Embora não existam no INTEGRATION elementos específicos para a modelagem de rotatórias, Bertoncini e Demarchi (2005) utilizaram este simulador para avaliar a substituição de uma interseção semaforizada na cidade de Maringá, PR, por uma rotatória de diâmetro reduzido. Para tanto, os autores implementaram um processo iterativo de calibração da velocidade de fluxo livre e da capacidade dos arcos da rotatória, obtendo uma representação adequada das velocidades médias observadas em campo. O presente estudo partiu, portanto, da experiência relatada para Maringá, buscando, entretanto, simular alternativas de intervenção em uma grande rotatória, especialmente o controle semafórico em algumas de suas aproximações, além de validar em campo o comportamento do tráfego simulado pelo INTEGRATION.

3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E OPERACIONAL DA ROTATÓRIA ANALISADA

Como pode ser visto na Figura 1, a rotatória apresenta uma geometria de ilha central formada por dois semicírculos com grande raio, conectados por segmentos de reta, sem simetria entre os seus pontos de entrada/saída. O maior diâmetro da ilha tem 150m, enquanto o menor 115m, o que resulta em trechos de entrelaçamento com extensões distintas. Na pista circulante existem trechos com três faixas (próximos aos pontos de saída) e outros com quatro faixas de tráfego. As suas aproximações apresentam os seguintes números de faixas: três faixas de tráfego na aproximação norte (Av. Aguanambi); duas faixas de tráfego na aproximação oeste (Av. Eduardo Girão); quatro faixas de tráfego na aproximação sul (Av. Aguanambi) e 2 faixas de tráfego na aproximação leste (BR-116).

Com relação à circulação dos veículos na rotatória, existem sete pontos principais de chegada e saída, gerando 16 fluxos diferentes na rotatória e nas suas aproximações (ver Figura 1). Conforme mencionado anteriormente, a combinação das demandas de tráfego com a geometria irregular (curtas distâncias de entrelaçamento para um número elevado de faixas de transposição) gera vários conflitos críticos nas entradas da rotatória. Outro problema são as filas excessivas na aproximação norte, principalmente no período da tarde, devido à alta demanda de veículos trafegando no sentido norte-sul com destino a BR-116 e que perdem o direito de passagem para o fluxo circulante. A fila na aproximação norte se estende por quase um 1 km, entre 18 e 19h, como pode ser observado por uma câmera do sistema CFTV (Circuito Fechado de TV) do CTAFOR (Controle de Tráfego em Área de Fortaleza), localizada nas proximidades da rotatória.

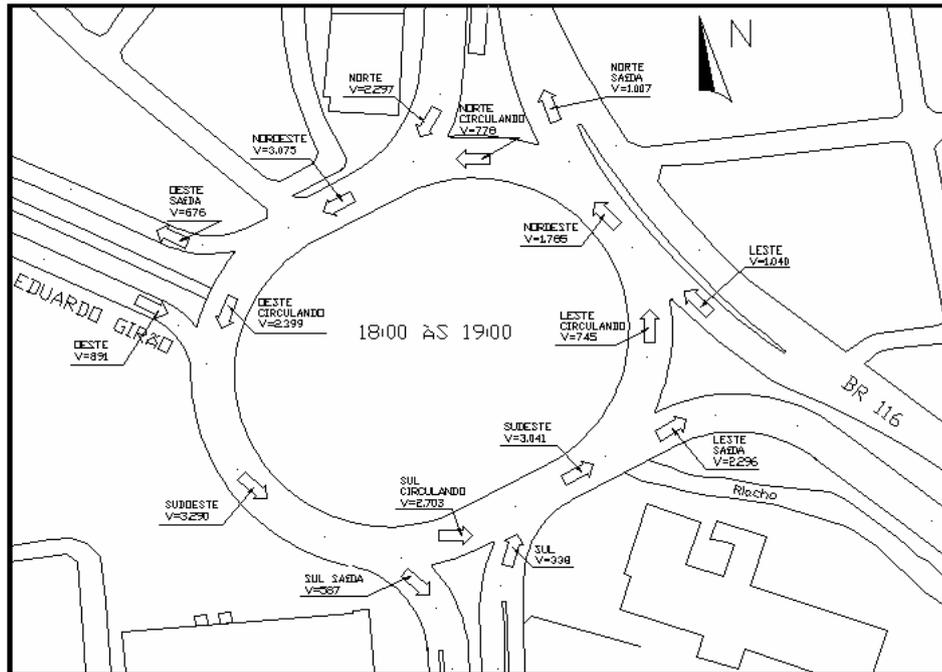


Figura 1: Planta da rotatória com fluxos no período de pico.

Os conflitos gerados nos intercruzamentos da rotatória vêm causando vários acidentes desde a sua implantação. De acordo com dados do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza – SIAT/FOR, a implantação da rotatória em 2005 aumentou o número de acidentes neste local em mais de quatro vezes em relação ao ano de 2004. Foram registrados, em 2005, 97 acidentes, resultando em uma morte e 12 feridos. Destes registros, dois foram atropelamentos. Ressalta-se ainda a construção recente de uma praça para fins urbanísticos no centro da rotatória, fazendo com que os pedestres tenham desejos de atravessar estas vias, provocando mais acidentes.

Os problemas de trânsito apresentados motivaram a realização de um estudo de avaliação de alternativas de intervenção com o objetivo de melhorar a segurança e a fluidez do tráfego de passagem pela rotatória, assim como permitir o acesso seguro dos pedestres à nova praça construída na ilha da rotatória. Portanto, foi realizada inicialmente uma contagem volumétrica e classificatória num dia típico do mês de janeiro de 2006, durante o período entre 15 e 19h, em 8 pontos da rotatória: nas quatro aproximações (N, S, L e O) e nos quatro fluxos circulantes que conflitam com o tráfego oriundo destas aproximações. Os demais fluxos foram determinados a partir da combinação dos fluxos pesquisados. A Figura 1 apresenta os resultados de fluxos obtidos para a hora de pico do tráfego na rotatória (entre 18 e 19h).

4. METOLOGIA DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Para o estudo de simulação usando o INTEGRATION foram realizadas as seguintes etapas: estimativa da matriz O/D, codificação das redes para a situação atual e alternativas propostas, assim como calibração do modelo para a situação atual. A distribuição de viagens do tráfego atual de passagem na rotatória foi estimada utilizando a rotina QUEENSOD, para gerar, com base nos fluxos coletados em campo, quatro matrizes O/D, correspondendo aos quatro intervalos horários da pesquisa volumétrica (15-16h; 16-17h; 17-18h e 18-19h). A opção de usar esta rotina, sem a coleta de matrizes sementes em campo (por meio de pesquisas de

placas, por exemplo), se deve ao fato de existirem poucas opções de rotas na rede estudada, sendo possível a estimação de matrizes muito próximas das situações reais. Além disso, devido ao grande volume de veículos que acessam a rotatória no período de coleta, uma pesquisa O/D em campo provavelmente não apresentaria resultados muito confiáveis. Após a coleta dos fluxos em campo e estimativa da matriz O/D foram codificadas as redes da situação atual e das alternativas propostas.

4.1. Alternativas propostas

Duas alternativas foram avaliadas neste estudo, como descrito a seguir:

- Alternativa 1: consiste na implantação de três semáforos na rotatória, localizados nas entradas norte, sul e leste (Figura 2). Com isto espera-se uma repartição mais eficiente da capacidade e aumento da segurança da rotatória;
- Alternativa 2: consiste na construção de um viaduto interligando a pista oeste (de sentido norte-sul) da Av. Aguanambi à pista sul da BR-116, retirando da rotatória um elevado volume veicular (Figura 3). Esta alternativa requer, contudo, uma readequação da área (eliminando a praça na ilha da rotatória) para não permitir o acesso a pedestres.

Como a Alternativa 2 representa uma situação futura, na qual se espera um acréscimo na demanda do tráfego, não mais atendida pela capacidade dos semáforos, ela foi simulada para dois cenários de demanda: a demanda atual e a demanda obtida por um acréscimo nos fluxos de tráfego de 15%, assumida como taxa de crescimento da demanda em um período de 5 anos.

4.2. Calibração do modelo

Na calibração do simulador, foram adotados os valores dos seguintes parâmetros obtidos por Colella e Demarchi (2005): densidade de congestionamento ($k_j = 165$ veíc/km/faixa); velocidade de fluxo livre ($v_f = 60$ km/h); velocidade na capacidade ($v_c = 30$ km/h); coeficiente de variação da velocidade ($Cv_v = 0,03$). Já com relação aos *links* (aproximações) de entrada na rotatória, o fluxo na capacidade (q_c) foi calibrado para a situação atual a partir de comparações de filas observadas e modeladas. Sabe-se que a capacidade de cada entrada de uma rotatória varia em função do fluxo circulante que conflita com o respectivo fluxo de entrada. Portanto, decidiu-se calibrar este parâmetro para o período mais crítico do tráfego na rotatória, entre 18 e 19 h, assumindo-o igual para os outros períodos. O método de calibração adotado foi do tipo iterativo visual. Ou seja, o parâmetro era alterado em cada aproximação da rotatória e as filas de veículos modeladas eram comparadas às filas reais, obtidas a partir de imagens gravadas com o auxílio do sistema CFTV do CTAFOR. Com isto, obteve-se os seguintes resultados para cada aproximação da rotatória: aproximação norte - 900 veíc/h/faixa; aproximação leste - 1100 veíc/h/faixa; aproximação sul - 900 veíc/h/faixa; aproximação oeste - 1000 veíc/h/faixa.

Estes resultados refletem a geometria nas entradas da rotatória, que se caracterizam como interseções similares às do tipo “T”. Assim, os veículos, ao entrarem na rotatória, realizam movimentos aproximadamente de conversão à direita, acarretando em redução do fluxo na capacidade destes *links*. Já nos *links* internos à rotatória, assim como nos outros *links* da rede, o comportamento do tráfego seguiu o modelo de fluxo-velocidade do INTEGRATION, adotando-se um valor de 2000 veíc/h/faixa para o fluxo na capacidade destes *links*. Ressalta-se que os movimentos de entrelaçamento nos *links* internos seguem o modelo de mudança de

faixa do INTEGRATION.

Na modelagem das Alternativas 1 e 2, os valores de fluxo na capacidade dos *links* de entrada na rotatória foram aumentados, assumindo que estas alternativas acarretavam em acréscimo do fluxo na capacidade nas entradas da rotatória. Como exemplo, na Alternativa 1 foi adotado o valor de 1200 veíc/h/faixa para o *link* norte (controlado por um semáforo) da rotatória. Já na Alternativa 2, foi adotado o valor de 2000 veíc/h/faixa para a pista do viaduto.

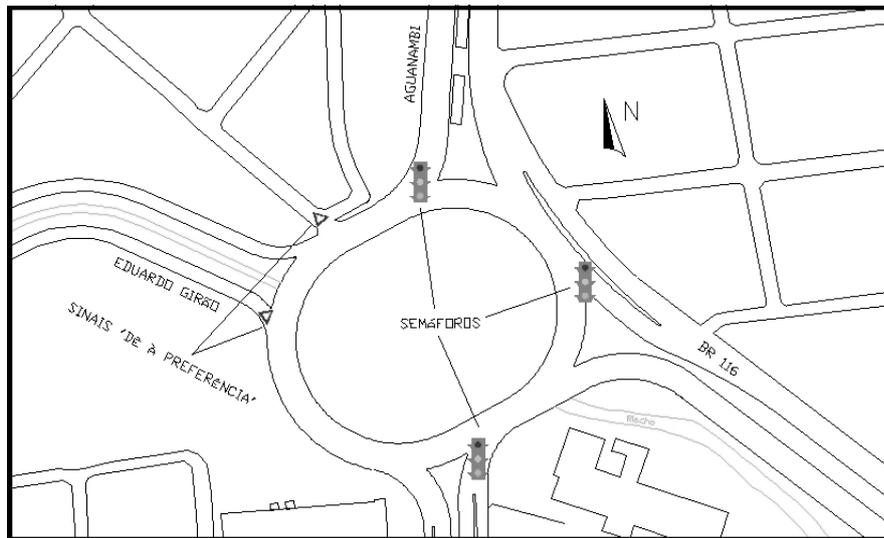


Figura 2: Alternativa 1 – implantação de semáforos na rotatória.

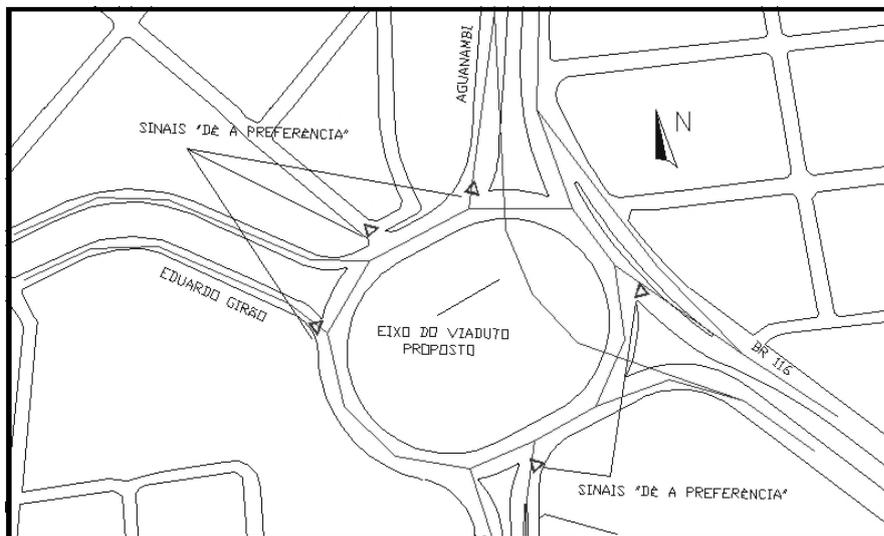


Figura 3: Alternativa 2 – construção de viaduto.

5. SIMULAÇÕES NO INTEGRATION E VALIDAÇÃO EM CAMPO

Após o processo de calibração do modelo, foram realizadas as simulações no INTEGRATION. Os resultados dos fluxos e atrasos modelados para a situação atual e para as Alternativas 1 e 2 estão resumidos na Tabela 1. Com relação à Alternativa 1, os resultados evidenciaram uma tendência de redução significativa dos atrasos em relação à situação atual, durante os períodos 3 (17-18h) e 4 (18-19h), nas aproximações norte e oeste da rotatória.

Estas aproximações, conforme pode ser observado na Tabela 1, apresentam os maiores fluxos de tráfego de entrada na rotatória. Já nas aproximações sul e leste, que apresentam volumes mais baixos, houve uma tendência de acréscimo nos atrasos. Foi constatado também, como esperado, que em períodos de médio volume do tráfego (entrepico, correspondendo aos períodos 1 e 2), ocorreu uma tendência de acréscimo nos atrasos em todas as aproximações da rotatória. Entretanto, as simulações mostraram também que a Alternativa 1 elimina as filas excessivas observadas na aproximação norte durante o período de 18 às 19h. Considerando o atraso médio global, obtido pela média ponderada pelos fluxos e atrasos médios de cada aproximação da rotatória em cada período de estudo, foi obtida uma redução de 30% neste indicador em relação à situação atual. Ou seja, os resultados positivos de redução de atraso obtidos nos intervalos 3 e 4 superaram os resultados negativos de acréscimo de atraso obtidos nos intervalos 1 e 2.

As simulações da Alternativa 2 evidenciaram uma tendência de redução do atraso em todas as aproximações da rotatória, durante todos os períodos estudados. Para essa alternativa, a redução no atraso médio global foi de 77%, e de 70% quando considerado um acréscimo de 15% na demanda. O bom desempenho, em termos de redução de atraso, obtido na Alternativa 2 se deve à eliminação dos principais conflitos de trânsito na rotatória, devido à implantação de um viaduto para escoamento do principal fluxo de veículos que não mais utilizaria a rotatória.

Tabela 1: Atrasos e fluxos modelados pelo INTEGRATION.

| Aproximação | Cenário | 1 (15-16h) | | 2 (16-17h) | | 3 (17-18h) | | 4 (18-19h) | |
|-------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | Atraso (s/veíc) | Fluxo (veíc/h) |
| Norte | Atual | 44 | 2167 | 46 | 2323 | 114 | 2471 | 190 | 2413 |
| | Alternativa 1 | 52 | 2159 | 57 | 2335 | 76 | 2534 | 82 | 2538 |
| | Alternativa 2 | 25 | 2175 | 27 | 2339 | 26 | 2565 | 28 | 2546 |
| | Alternativa 2 + 15% | 29 | 2536 | 34 | 2648 | 38 | 2935 | 35 | 2974 |
| Sul | Atual | 15 | 427 | 16 | 317 | 20 | 459 | 21 | 380 |
| | Alternativa 1 | 34 | 428 | 34 | 316 | 45 | 458 | 43 | 381 |
| | Alternativa 2 | 2 | 428 | 2 | 316 | 3 | 462 | 4 | 377 |
| | Alternativa 2 + 15% | 2 | 491 | 3 | 366 | 3 | 528 | 4 | 436 |
| Leste | Atual | 6 | 524 | 5 | 483 | 5 | 648 | 6 | 783 |
| | Alternativa 1 | 24 | 520 | 25 | 483 | 28 | 642 | 32 | 790 |
| | Alternativa 2 | 5 | 524 | 4 | 483 | 6 | 647 | 6 | 784 |
| | Alternativa 2 + 15% | 7 | 603 | 6 | 548 | 9 | 748 | 13 | 902 |
| Oeste | Atual | 13 | 659 | 14 | 672 | 77 | 835 | 164 | 901 |
| | Alternativa 1 | 17 | 660 | 20 | 669 | 39 | 866 | 38 | 942 |
| | Alternativa 2 | 3 | 660 | 3 | 674 | 4 | 863 | 4 | 947 |
| | Alternativa 2 + 15% | 4 | 761 | 5 | 773 | 5 | 991 | 6 | 1085 |

A Alternativa 1 foi também testada em campo com auxílio de agentes de trânsito que simulavam a operação dos semáforos em cada aproximação da rotatória. A programação dos semáforos hipotéticos para teste em campo foi a mesma adotada para a modelagem no INTEGRATION. Os tempos semaforicos foram codificados em três *palmtops* (computadores de mão), um para cada semáforo, que eram sincronizados e usados para orientar os comandos dos agentes para parar o tráfego ou dar direito de passagem nas aproximações de cada semáforo. Analogamente ao processo adotado para calibração do fluxo na capacidade para a situação atual, as filas nas aproximações da rotatória foram observadas e comparadas

visualmente com as obtidas no INTEGRATION. O critério para validar a modelagem da Alternativa 1 foi a redução da fila na aproximação norte, observada no teste em campo e prevista pelo modelo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho testou novas configurações na rotatória do encontro da rodovia BR-116 com as vias arteriais urbanas Av. Aguanambi e Av. Eduardo Girão, localizada na cidade de Fortaleza. Analisando a variável “tempo de atraso”, constatou-se que a Alternativa 1, que propunha a implantação de semáforos em 3 aproximações deste dispositivo rodoviário, eliminou as filas excessivas na aproximação norte, atendendo ao volume de tráfego predominante, acarretando numa distribuição mais eficiente da capacidade da rotatória. Pode-se afirmar também, a partir de observações dos testes em campo, que esta alternativa irá garantir uma maior segurança para a travessia de pedestres, já que foi construída uma praça na ilha central da rotatória. Porém, vale ressaltar que não se deve ter uma ilha central de uma rotatória com esta função. Já a análise da Alternativa 2, de implantação de um viaduto, serviu para avaliar possíveis intervenções de médio ou longo prazo, que serão necessárias devido ao contínuo crescimento do tráfego.

Acredita-se que este trabalho tenha contribuído para disseminar, junto ao corpo técnico responsável pela gestão do trânsito em Fortaleza, a utilidade da micro-simulação do tráfego veicular na avaliação de alternativas de intervenções físicas e operacionais na malha viária urbana, permitindo a quantificação de indicadores de desempenho das diversas alternativas analisadas de modo a embasar melhor a tomada de decisão.

Ademais, este trabalho apresenta de forma pioneira uma experiência de validação em campo dos resultados da simulação computacional da operação semaforizada em uma rotatória, a partir da atuação de agentes humanos de operação alternando direitos de passagem de modo a reproduzir os estágios do plano semaforico proposto. Os resultados satisfatórios deste esforço de simulação computacional do tráfego veicular reforçam a aplicabilidade do uso desta ferramenta na tomada de decisão tática e operacional na gestão do trânsito em Fortaleza e demais cidades brasileiras de grande e médio portes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) pela cooperação em todas as etapas do estudo, que resultou no projeto de graduação do autor principal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertoncini, B.V. e S. H. Demarchi (2005) Impacto nas Medidas de Desempenho Operacional devido à Substituição de Interseção Semaforizada por Rotatória. *Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Recife, PE, Comunicação Técnica (CD-ROM).
- Colella, D. A. T.; E. P. Lima e S. H. Demarchi (2004) Calibração e Validação do Modelo Fluxo-Velocidade do Integration para Vias Urbanas Semaforizadas. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Florianópolis, SC, Artigo Científico, v. 1, p. 453-464.
- Colella, D. A. T. e S. H. Demarchi (2005) Calibração do Modelo Fluxo-Velocidade do Simulador Integration a partir de Tempos de Percurso em Vias Urbanas. *Anais do IX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Recife, PE, Artigo Científico, v. 2, p. 1058-1069.
- Demarchi, S. H.; D. A. T. Colella e B. V. Bertoncini (2003) Determinação da Densidade de Congestionamento em Filas de Interseções Semaforizadas. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, RJ, Artigo Científico, v. 1, p. 476-488.
- Ortolani, G. A. (2003). Comparação do Desempenho de Dispositivos de Interseções Rodoviárias em Nível



Utilizando o Simulador Integration. São Carlos, 2003. 100p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Rakha, H. (2002a) *INTEGRATION Release 2.30 for Windows: User's Guide*, Volumes 1 e 2, Michel Van Aerde & Associates Ltd., Blacksburg, VA.

Rakha, H. (2002b) *QUEENSOD Rel. 2.10 - User's Guide: Estimating Origin - Destination Traffic Demands from Link Flow Counts*, Michel Van Aerde & Associates Ltd., Blacksburg, VA.

Van Aerde, M. (1995) A Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Congested and Uncongested Highways. *Paper 950820, Transportation Research Board, 74th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici – Centro de Tecnologia – Bloco 703
60.455-760 – Fortaleza, CE

Fone/Fax: (0xx85) 3366-9488
E-mail: elievam@det.ufc.br
moraes@amc.ce.gov.br
suliano@amc.ce.gov.br
felipe@det.ufc.br