

## UM PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS OPERACIONAIS DE GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO ATRAVÉS DA MICRO-SIMULAÇÃO

Eunice Horácio de Souza de Barros Teixeira  
Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ

### RESUMO

O interesse em analisar os impactos causados por congestionamentos é de grande importância, dado o número de externalidades que provocam. É uma das situações sistemáticas em que os congestionamentos ocorrem são os incidentes de tráfego. Com a utilização de um micro-simulador de tráfego, as situações de incidentes poderão ser simuladas e o comportamento dos veículos quanto à escolha de suas rotas poderá ser visualizado, demonstrando-se a viabilidade da ocorrência de uma determinada manifestação ou a intervenção proposta em uma situação emergencial. O objetivo deste artigo é apresentar um procedimento para possibilitar a elaboração de alternativas operacionais para o tráfego, servindo de auxílio para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de tráfego. É apresentada uma aplicação do procedimento com um estudo de caso no centro da cidade do Rio de Janeiro, onde foi elaborado um modelo e houve o processamento de simulações de alguns cenários alternativos para a situação do fechamento de uma via devido a um incidente.

### ABSTRACT

The interest in analyzing the impacts caused by traffic jams is of highest importance, because it has a lot of consequences. Traffic incidents can be one of the systematic situations for traffic jams. Using a traffic micro-simulator, not only emergency situations but also the intervention in case something unusual happens can be foreseen. This paper aims to show the possibility of using a procedure to elaborate traffic's operational alternatives, serving as aid for managers and planners of the transports to take traffic management decisions. It also presents solutions for developing traffic management in the city centre of Rio de Janeiro, taking a specific case as an example, where a model was elaborated and had the simulation's processing of some alternative scenes for the situation that an incident causes the traffic interruption.

### 1. INTRODUÇÃO

O funcionamento eficiente de qualquer sociedade depende criticamente dos seus diversos tipos de rede, sejam as de fornecimentos de água, de energia, de canalizações, de comunicações e, é claro, de transportes. As fontes potenciais de interrupção de uma rede de transportes são inúmeras, com variações abrangendo desde desastres naturais ou artificiais em um extremo (como terremotos, enchentes, ataques terroristas, colapsos de túneis ou pontes e outros acidentes de grande porte), até o outro com eventos rotineiros (como manutenção de vias, veículos mal estacionados e colisões de menor porte).

Devido a grande variabilidade, pouco pode ser feito em relação a escala, frequência, impacto e características desses eventos – sobretudo avaliando os desastres naturais, no entanto, é possível projetar e gerenciar uma rede de transportes a fim de minimizar as interrupções que cada um desses eventos pode causar. Esses eventos são abordados especificamente nesse artigo como sendo os incidentes de tráfego que causam interrupções totais ou parciais na circulação da rede do sistema de transportes.

De acordo com Poyares (2000) existe um reconhecimento da necessidade de considerar as estratégias de tráfego dentro de uma estrutura global de política urbana e planejamento integrado ao sistema de transporte devido ao crescimento desordenado do tráfego, que tem como conseqüências congestionamentos e queda da qualidade de vida. Os congestionamentos são cada vez mais extensos em tamanho e duração; as condições ambientais são

sistematicamente degradadas e as elevadas ocorrências de acidentes de tráfego são, dentre outras, manifestações concretas desses impactos.

O tempo gasto nos deslocamentos casa/trabalho/casa, quando se torna excessivo, provoca perda de produtividade para as pessoas. Um tempo de viagem superior a 40 minutos causa redução na produtividade e para elucidar, cada hora diária em congestionamento em uma vida laboral de 35 anos representa 1 ano de vida perdida no congestionamento (IPEA *apud* CNT, 2002).

Tal perda pode ser mensurada em termos de custos. O tempo perdido por passageiros em congestionamentos severos representa um custo anual de R\$ 262 milhões de reais, sendo R\$ 58,46 milhões na cidade do Rio de Janeiro. Pode-se ainda medir este custo através da quantidade de combustível desperdiçado em congestionamentos. A cidade do Rio de Janeiro perde R\$ 28,65 milhões em consumo devido a este motivo (IPEA *apud* CNT, 2002).

De acordo com Schrank e Lomax (2005), apesar da diminuição da taxa de crescimento nos empregos e viagens em 2003, nos EUA, os congestionamentos causaram 3,7 bilhões de horas de atraso de viagem e 8,7 bilhões de litros de combustível desperdiçado, um aumento de 79 milhões de horas e 261,2 milhões de litros desde 2002 com um custo total superior a US\$63 milhões. As soluções para esse problema requerem comprometimento de iniciativas públicas e privadas para elevar os níveis de investimento e identificar projetos, programas e políticas que consigam atingir metas de mobilidade. Nenhuma solução isoladamente irá permitir a distribuição da mobilidade irrestrita em todos os lugares e em qualquer hora do dia sem comprometer a segurança, o meio ambiente ou outras conseqüências.

O objetivo deste artigo é a apresentação de um procedimento para possibilitar a elaboração de alternativas para o tráfego em centros urbanos de cidades de médio e grande porte devido à ocorrência de incidentes na rede viária. Pretende-se, como planejador de transportes, gerenciar um problema sistemático de tráfego urbano – os congestionamentos decorrentes de quaisquer incidentes nas vias, utilizando-se soluções de engenharia de tráfego, algumas premissas de desenvolvimento de um sistema especialista e uma técnica aprimorada, com a implantação de um modelo de micro-simulação de tráfego.

Na próxima seção, é feita uma revisão teórica conceitual a partir das literaturas disponíveis sobre os principais conceitos empregados no desenvolvimento do procedimento criado. Na seção 3, apresenta-se o procedimento proposto, objetivando a criação de uma rotina para o caso de incidentes em centros urbanos de cidades de médio e grande porte. Na seção seguinte, o procedimento é aplicado em um estudo de caso. A última seção apresenta as considerações finais em relação ao exposto, algumas conclusões assim como recomendações.

## **2. ESTADO DA ARTE**

Os eventos que causam redução da capacidade viária e descontinuidade do fluxo de tráfego são abordados especificamente nesse artigo como sendo os incidentes de tráfego que causam interrupções totais ou parciais na circulação da rede do sistema de transportes. A maneira proposta para minimizar seus efeitos é através de um procedimento para tais situações emergenciais. No entanto, no que diz respeito às redes de transportes em algumas cidades, a situação de incidente somente agrava um problema já existente de saturação das vias, visto

que a concepção de seus sistemas já está equivocada, oferecendo aos usuários serviços de baixa qualidade.

Algumas alternativas de políticas de redução de congestionamentos podem ser grandes aliadas na melhoria operacional do uso das vias, uma vez que em sua maioria, são medidas voltadas à mobilidade e acessibilidade dos sistemas de transportes. No entanto, devido à constância de ocorrência dos congestionamentos viários nos últimos tempos, Schrank e Lomax (2005) consideram a possibilidade de não mais pensar em reduzir os níveis de congestionamento, mas apenas impedi-los de aumentar. Tendo sido apresentada a possibilidade de decisão do usuário em realizar suas viagens, o tópico da tomada de decisão relativa aos planejadores e gestores do sistema de transportes aparece na seqüência.

O processo de tomada de decisão para seleção de alternativas nas situações em que ocorrem incidentes de tráfego apresenta-se basicamente na forma de conhecimento humano, cada qual desenvolvendo um procedimento próprio, de forma isolada e que subsidie sua decisão. A escolha de um tratamento para determinado incidente não obedece a uma metodologia única, baseando-se nos conhecimentos empíricos de técnicos ao longo de implantações realizadas com sucesso em situações anteriores, preocupados com a fluidez do tráfego no local do incidente e por vezes deixando de analisar a área afetada como um todo.

A inexistência de uma metodologia que aborde de uma forma conjunta diversos aspectos teóricos e empíricos, gera uma carência de dados para futuros diagnósticos, além de impossibilitar a previsão de futuras ações. A falta sistêmica resulta muitas vezes na utilização de soluções alternativas copiadas de outros sistemas de transportes, sem considerar aspectos típicos e sem adaptá-los à realidade brasileira (Freitas, 1999).

São utilizados conceitos de Sistemas Especialistas para modelar as alternativas no desenvolvimento de um procedimento de apoio à tomada de decisão, representando o conhecimento e a experiência dos técnicos habilitados para a resolução de um problema na via. Para que seja possível o pleno entendimento dos conceitos utilizados na elaboração do procedimento, um embasamento teórico dessa caracterização do estudo será descrita mais detalhadamente.

Sistemas Especialistas são definidos como sistemas computacionais que visam reproduzir a *performance* de um especialista humano em uma determinada área de atuação. Estes sistemas manipulam conhecimento, enquanto que os programas convencionais manipulam dados. Com isso, os sistemas especialistas são ferramentas potenciais, pois além da informação, necessitam da experiência e do discernimento de um especialista humano que os processos tradicionais não conseguem incorporar (Maiolino, 1992).

Freitas (1999) aponta os sistemas especialistas como tendo um grande potencial onde além da informação, são necessários a experiência, o discernimento e heurísticas de um especialista humano que os processos dos algoritmos tradicionais não conseguem incorporar. O Sistema Especialista de Tráfego não apenas apresenta uma metodologia única passo a passo, mas também oferece um número de melhorias práticas que tornam o trabalho diário mais simples e mais eficiente. O Sistema Especialista de Tráfego conseqüentemente contribui tanto para a segurança de tráfego e manutenção da mobilidade como em fazer com que haja uma reflexão sobre a compreensão moderna das avaliações psicológicas no tráfego.

Sheu e Ritchie (1998) *apud* Sousa (2003) definem incidentes como eventos não-usuais que interrompem o tráfego inesperadamente. Mais gravemente, podem causar gargalos e até mesmo acidentes secundários tendo sido indicado que o risco de acidentes secundários pode ser significativamente reduzido pelo aviso e detecção antecipados dos incidentes. Torna-se evidente que tanto a detecção quanto o aviso são dois fatores importantes na redução do impacto dos incidentes de tráfego.

Os incidentes, seu tempo de duração e efeitos no fluxo de tráfego são cada vez mais estudados por pesquisadores europeus e, sobretudo americanos. Esta preocupação reflete-se, por exemplo, no trabalho de Nam e Mannering (2000) que aplicam uma série de modelos de tempos baseados em periculosidade para estudar a duração de incidentes em Washington – DC, USA. Os diversos fatores que podem vir a afetar o tempo de detecção e resposta do incidente são de extrema importância, não apenas por evitar danos pessoais e materiais (às vias, aos veículos e ao ambiente), mas também para solucionar suas conseqüências e quando possível impedir a formação de congestionamentos devido aos mesmos.

Muitos centros urbanos possuem atualmente Centrais de Gerenciamento de Tráfego e têm organizado a detecção, fiscalização e controle de suas vias, sobretudo vias expressas e rodovias. A concepção de sistema para o gerenciamento de tráfego configura-se em uma ferramenta eficiente para o controle de incidentes. As informações de tráfego também são importantes aos usuários, capacitando-os a afastar-se do local do incidente o mais rápido possível através de rotas alternativas menos congestionadas.

Segundo o ITS AMERICA (2005), a cidade de Houston opera o sistema *Houston Transtar* que é responsável por coordenar o planejamento, o projeto, as operações e manutenção dos sistemas de transportes e possui um completo e integrado sistema de detecção de incidentes, notificação de alarme e de rastreamento para aplicação aos meios de transporte e gerenciamento de emergência. A experiência de Toronto com o sistema COMPASS na monitoração do tráfego em trechos de uma rodovia revelou que o tempo de liberação da via à suas condições normais de tráfego foi reduzido de 86 para 30 minutos e o atraso médio por incidente foi reduzido em 537 veículos hora. Estima-se que a colocação de mensagens nos locais onde ocorreram incidentes tenha prevenido aproximadamente 200 acidentes por ano, resultando em economia de US\$ 10 milhões (ITS CANADA, 2004).

O processo de alocação de tráfego consiste na identificação de rotas entre as origens e seus respectivos destinos, onde há a estimativa de possibilidade de caminhos determinados por diversos critérios, como por exemplo, tempo mínimo de viagem, menor percurso, menor custo ou ainda uma combinação de fatores. A necessidade de integrar os processos de alocação e simulação de tráfego levou ao desenvolvimento de modelos de micro-simulação que incorporam rotinas de escolha de rotas, especificamente a pesquisa deste artigo utiliza-se desse artifício, fazendo a alocação de tráfego no próprio modelo de micro-simulação.

A simulação de tráfego é uma ferramenta que ajuda os profissionais de transportes a alcançar as decisões principais sobre o planejamento e projeto das facilidades de uma via e de seu sistema de sinal de tráfego (Dittberner e Knors, 2002). Os autores ressaltam que a simulação de tráfego é tanto uma arte como uma ciência, dado que a invariabilidade de suposições por parte dos projetistas direciona a uma impressão única do produto final.

Sousa e Ribeiro (2004) afirmam que a simulação tem sido utilizada na análise de sistemas complexos em que uma representação analítica não consegue alcançar resultados satisfatórios. Em uma subsequente tomada de decisão, a simulação permite uma avaliação comparativa de distintas políticas de controle, capturando o comportamento empírico do fenômeno e a resposta do sistema controlado por determinada política.

A escolha de um simulador de tráfego deve ser dada em função da aplicação que se deseja e deve contemplar tanto as entradas requeridas devido à modelagem do *software* como as saídas disponibilizadas pelo mesmo, assim como demais aspectos de interesse.

### 3. PROCEDIMENTO PROPOSTO

A orientação do planejamento quanto ao futuro pode ser visto através de relações determinísticas, sendo o futuro consequência do passado; pode ser visto como resultado de situações desejadas, com valores e aspirações definidos e ainda como uma incerteza que depende das decisões do presente e da ocorrência de eventos futuros alternativos. Sendo assim, deve-se ter uma noção exata da orientação do planejamento que se pretende definir, assim como a estrutura de tal processo de planejamento de transportes deve estar bem fundamentada.

Esta seção apresenta um procedimento que possa atuar em diversas situações de incidentes e deve ser executado a fim de se obter regras de como agir em determinadas ocorrências. Sendo assim, esse procedimento faz parte de um processo de planejamento de transportes onde se devem adquirir informações sobre os sistemas de transportes, os sistemas de atividades e os sistemas institucionais do local. Cada localização deve ter seu modelo, daí a necessidade do conhecimento de seus sistemas. Já devidamente contextualizado pode-se traçar um diagnóstico do impacto que tal incidente causa e avaliar sua amplitude, a fim de estabelecer as alternativas e soluções.

O procedimento pode ser aplicado para diversos incidentes distintos em uma mesma região, causando impactos diferentes e ainda tendo soluções adversas. Ou seja, cada vez que o procedimento é realizado, obtém-se um conjunto de possibilidades, podendo as mesmas serem listadas transformando-os as em regras.

É importante que haja uma monitoração da aplicação de cada uma dessas soluções, enriquecendo o cadastro de regras viáveis. Além disso, um determinado incidente “x” ocorrido em um trecho de uma via pode servir de solução inicial para um incidente “y” no mesmo trecho de via. Parte-se do pressuposto que se ambos tiverem a mesma extensão e gravidade, a análise das alternativas no procedimento proposto será reduzida.

Este tipo de solução de um procedimento único para gerenciar o tráfego e fornecer alternativas operacionais é cada vez mais utilizado nos EUA, onde diversas agências de transportes em cada estado norte-americano fizeram suas adaptações ao procedimento, de acordo com a disponibilidade de equipamentos de detecção de incidentes, equipes de apoio de resgate e de serviços de patrulha e ainda considerando a sua legislação vigente. Um dos mais conhecidos procedimentos é o de São Francisco – CA, que funciona desde 1992 com suas regras para utilização de alternativas operacionais em situações de incidentes. Em Denver – CO, com a utilização de regras geradas por um procedimento, a cidade reduziu os custos

decorrentes de atraso nas vias no pico da manhã, gerados pelo tráfego adicional conseqüente de incidentes em torno de U\$0,80 a U\$1,0 milhão (Johnson e Thomas, 2000).

O procedimento proposto neste artigo não é um sistema especialista, mas fundamenta-se em alguns de seus conceitos a medida que depende do conhecimento humano para resolução de alternativas e ao mesmo tempo utiliza-se de técnicas computacionais para sua elaboração. E principalmente, pode melhorar o processo de tomada de decisão e reduzir a subjetividade dos gestores, planejadores e tomadores de decisão do setor de transportes.

O procedimento proposto para alternativas de esquemas operacionais de gerenciamento do tráfego em situações de incidentes através da micro-simulação é dividido nos dezesseis passos listados abaixo, e o fluxograma representativo do procedimento é apresentado na figura 1 possibilitando um melhor entendimento de cada etapa.

- Identificação e Definição do Problema
- Definição da abrangência da área a ser estudada
- Identificação dos dados necessários
- Coleta e Seleção de Dados
- Desenho da configuração viária no TRAFNETSIM – criação do modelo
- Entrada de dados no modelo
- Escolha das Medidas de Efetividade
- Processo de Validação do Modelo
- Diagnóstico – seleção da situação de incidente
- Desenho da configuração viária do incidente no TRAFNETSIM
- Alternativas geradas para a situação de incidente
- Alocação do Tráfego
- Novos Tempos Semafóricos (TRANSYT)
- Processamento das Alternativas com o tráfego alocado e novos tempos semafóricos
- Comparação das Medidas de Efetividade - Avaliação dos indicadores de desempenho
- Escolha da Melhor Alternativa.

#### **4. ESTUDO DE CASO**

Esta seção mostra a aplicação do procedimento desenvolvido nesta pesquisa e proposta na seção anterior através da elaboração de um estudo de caso no centro da cidade do Rio de Janeiro.

A Avenida Rio Branco foi o local selecionado por ser o eixo principal da área do centro do Rio de Janeiro e alvo das principais manifestações públicas e incidentes que ocorrem na cidade do Rio de Janeiro. A área de influência foi determinada levando-se em consideração as principais transversais à Avenida Rio Branco, pois a área diretamente afetada é aquela que fica congestionada caso a Avenida Rio Branco feche total ou parcialmente, uma vez que as interseções semaforizadas poderiam vir a causar filas. Fez-se necessário configurar as principais transversais e paralelas à Avenida Rio Branco, considerando as vias do entorno que possuíssem interseções semaforizadas e um volume de tráfego considerável. Além disso, foi necessário acrescentar vias que possibilitem novas rotas para testar várias alternativas e escolher a mais adequada, pois há a necessidade de se garantir a movimentação dos veículos que normalmente usam a Avenida Rio Branco.

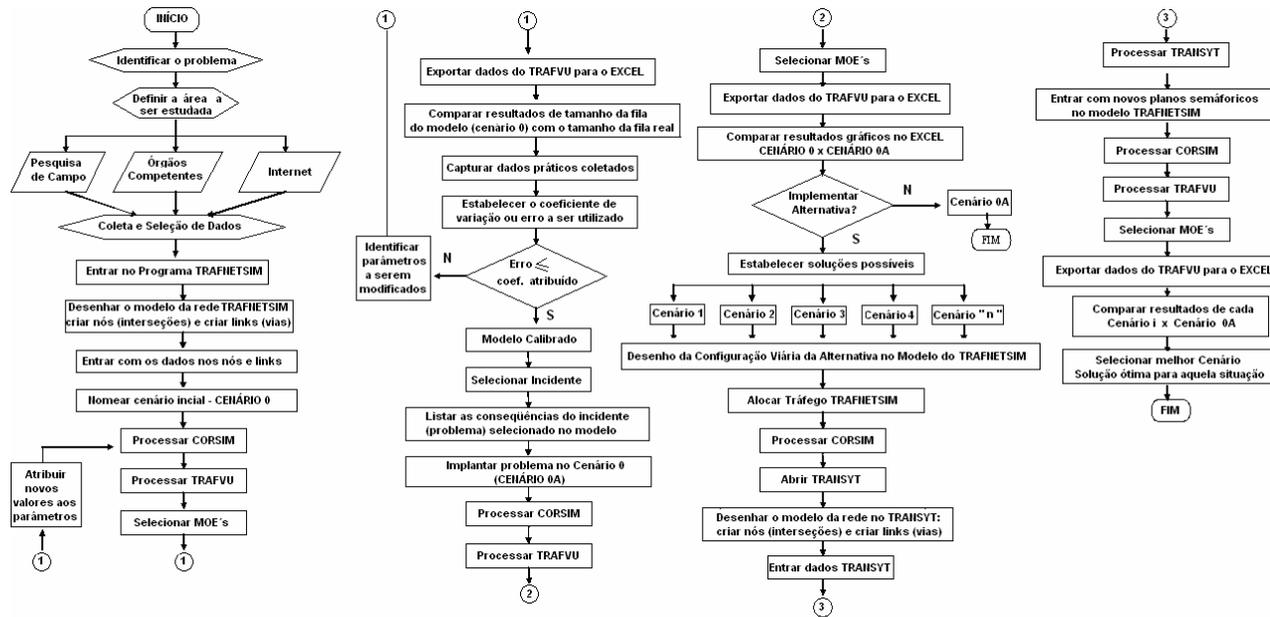


Figura 1 – Fluxograma do procedimento para geração de alternativas de gerenciamento de tráfego.

Os dados necessários são os caracterizados como sendo os dados de entrada nos programas TRAFNETSIM e TRANSYT. Fez-se um levantamento de quais características físicas e operacionais estariam disponibilizadas pela CET-RIO (Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro). Foi detectado que ainda que houvesse laços indutivos em trechos da área de estudo, estes não seriam suficientes para fornecer os dados referentes aos fluxos de tráfego nas interseções, sendo assim, identificada a necessidade de utilização do dado, foi necessário elaborar uma pesquisa de campo. Observações feitas através das câmeras da CET-RIO disponíveis na área de estudo permitiram a conferência de dados, situações e detalhes que poderiam estar despercebidos na pesquisa de campo.

A pesquisa de campo teve como principal foco coletar os dados de volume de tráfego das interseções definidas na área de estudo. Os dados sobre os fluxos de tráfego coletados são de grande utilidade, pois independentemente de processá-los em um programa de simulação, algumas características importantes da área em estudo pode ser observada a partir dos mesmos. Dentre outras utilizações, pode-se verificar a demanda solicitada em determinada via, assim como a sua composição (automóveis, ônibus, caminhões, táxis e vans); comparar a demanda com a capacidade da via; e analisar se os dispositivos de controle estão adequados à sua localização, assim como averiguar a necessidade de implantação de um controle semafórico em algum trecho de via.

O modelo foi elaborado através da rede com todos estes componentes, sendo a mesma dividida em *links* e nós. Cada *link* representa um segmento de via entre duas interseções e as interseções são representadas pelos nós. Simplificando, para cada *link* é necessário seu comprimento, greide, número de faixas e capacidade das faixas segregadas para giro. E para a operação da rede é preciso a velocidade de fluxo livre, intervalo médio de descarga entre veículos, disciplina de movimentos nas interseções, tempo perdido no início do verde, programação dos sinais e defasagem entre eles.

Para que se possam avaliar as alternativas a serem simuladas, algumas variáveis de tráfego foram estabelecidas como parâmetros de análise, com o propósito de indicar o desempenho da rede viária e demonstrar a melhor alternativa simulada. Podem-se considerar como efeitos de congestionamento o aumento dos atrasos, dos tempos de viagem e a diminuição da velocidade média da viagem.

Para esta análise são utilizadas as variáveis indicadas por Sousa (2003), que foram estabelecidas devido, principalmente, à sua representatividade global do desempenho da rede, avaliando toda a operacionalidade da malha viária de uma forma abrangente. As variáveis são: velocidade média; atraso parado e tempo de viagem.

Para a calibração do modelo, considerando-se a fila máxima de veículos por faixa de tráfego, estabeleceram-se quatro aproximações de interseções semaforizadas da rede em questão, onde a formação excessiva de veículos em fila pode ser evidenciada facilmente nos horários de pico da manhã. Estas aproximações foram selecionadas por representarem significativamente as vias com fluxo de tráfego intenso na área de estudo. Dessas quatro aproximações foram verificadas duas, pois eram as que estavam com melhor resolução no vídeo. A filmagem foi elaborada pela CET-RIO, a partir de suas câmeras localizadas na área de estudo.

Foi necessário modificar alguns parâmetros, para que o tamanho da fila simulada correspondesse ao tamanho da fila real nas vias descritas, dentre eles, o nível de familiaridade dos motoristas com a rede do modelo em questão. Outro parâmetro modificado foi o percentual de ônibus que não param em seus pontos (*bypass*).

Dentre as diversas situações de incidentes, escolheu-se para o estudo de caso, uma manifestação de vans na Avenida Presidente Vargas. A proporção de tal incidente pode variar, tendo uma consequência do fechamento da via total ou parcialmente. Foi analisado o caso do fechamento total, com tráfego impedido nas quatro faixas da via.

Seguindo o procedimento descrito no fluxograma, são elaborados os cenários 0 e 0A que correspondem às situações de vias no modelo sem quaisquer incidentes (situação 1) e com o incidente já configurado mas sem que haja alteração operacional (situação 2). A partir da situação de incidente que se pretende estudar são elaborados os cenários, especificamente será configurada uma manifestação de vans na Avenida Presidente Vargas, pista central, sentido zona norte-candelária com a consequência de interrupção total (situação 3). Nesta situação, as alterações desdobram-se em cenários para solucionar o problema com alocação de tráfego e utilização de medidas tradicionais de engenharia de tráfego – inversão da mão da via da pista paralela e colocação de faixa exclusiva para ônibus (tabela1). Tais cenários são apenas alguns dos possíveis a serem testados no modelo, onde uma das consequências do incidente selecionado é mostrada.

**Tabela 1:** Quadro resumo dos cenários configurados no modelo.

Situação/ Cenário		Descrição: <i>Incidente / Consequência</i>	Alterações	
1	0	Não há ocorrência de incidentes.	Não há alterações	
		Fluxo de veículos seguindo suas rotas, todas as vias liberadas.		
2	0A	Manifestação de vans: Av. Pres. Vargas	Não há alterações	
		Av. Pres. Vargas <i>com todas as 4 faixas de circulação de fluxo de tráfego interditas.</i>		
3	1	Manifestação de vans: Av. Pres. Vargas	Alocação de tráfego decorrente do impedimento de trafegar na Av. Pres. Vargas e alteração semafórica de acordo com novos fluxos.	
		Av. Pres. Vargas <i>com todas as 4 faixas de circulação de fluxo de tráfego interditas.</i>		
	2	Manifestação de vans: Av. Pres. Vargas.		Alocação de tráfego decorrente do impedimento de trafegar na Av. Pres. Vargas e alteração semafórica de acordo com novos fluxos – <b>inversão da mão da via paralela</b>
		Avenida Pres. Vargas <i>com todas as 4 faixas de circulação de fluxo de tráfego interditas.</i>		
	3	Manifestação de vans: Av. Pres. Vargas.		Alocação de tráfego decorrente do impedimento de trafegar na Av. Pres. Vargas e alteração semafórica de acordo com novos fluxos – <b>implantação de faixa exclusiva para ônibus</b>
		Avenida Pres. Vargas <i>com todas as 4 faixas de circulação de fluxo de tráfego interditas.</i>		

Estas análises foram feitas de cada variável separadamente nos trechos de via avaliados ao fim do período de simulação, para que seja escolhida a melhor solução. No entanto, apresentam-se apenas as tabelas resumos, com os resultados das variáveis às 8:00h,

após uma hora de simulação, como pode ser verificada na tabela 2. É importante ressaltar que a visualização da simulação é decisiva na escolha da solução, pois por muitas vezes pode ocorrer de um parâmetro indicar, por exemplo, uma velocidade média alta em um trecho da via e isto ocorrer devido a algum problema anterior que impeça dos veículos chegarem ali, então passam poucos com velocidade elevada, mas isto não significa que o desempenho da rede esteja satisfatório.

**Tabela 2** – Quadro resumo da velocidade, do atraso parado e do tempo de viagem médios de todos os veículos nos *links* selecionados em cada um dos cenários propostos.

<b>Velocidade Média (milhas/hora)</b>					
<i>link</i>	Cenário 0	Cenário 0A	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
230145	2,48	6,35	3,06	10,51	9,80
240025	1,40	1,85	1,42	3,35	3,23
280044	2,49	3,15	2,56	4,46	3,66
390001	6,76	2,93	4,92	5,86	5,11
410206	3,91	4,36	7,19	4,04	3,93
<b>Atraso Parado (veículo/minutos)</b>					
<i>link</i>	Cenário 0	Cenário 0A	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
230145	2319,35	933,08	2359,80	433,67	643,78
240025	2890,78	2554,53	2800,17	1543,20	1695,00
280044	4289,85	2708,90	4496,20	1935,55	3095,27
390001	845,12	2597,03	118,50	152,47	1848,35
410206	271,57	219,17	172,28	509,53	471,82
<b>Tempo de Viagem (veículo/minutos)</b>					
<i>link</i>	Cenário 0	Cenário 0A	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
230145	2614,40	1232,90	2320,90	811,18	789,72
240025	3267,12	3086,05	2807,40	2052,75	1956,55
280044	5560,12	3446,08	4289,92	1835,28	2147,68
390001	1359,07	3244,23	183,28	204,38	844,93
410206	396,22	333,17	384,67	859,48	773,47

Esta seção mostrou, a partir de um estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro, a aplicabilidade do procedimento proposto nesta pesquisa, para o gerenciamento do tráfego em situações de incidentes utilizando a micro-simulação como ferramenta de análise. Mostrou, também, que o processo de calibração do modelo de micro-simulação utilizado tem um papel fundamental no desenvolvimento de toda a pesquisa, já que o *software* em que foi elaborado o modelo não está calibrado para realidade brasileira.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos estudos estão sendo realizados em todo o mundo no que diz respeito à utilização e desenvolvimento de *softwares* de simulação. O uso destes está cada vez mais difundido e, aqui no Brasil, verificam-se níveis avançados de pesquisas aplicando os simuladores de tráfego nas mais variadas formas de análise de rede.

A utilização desta ferramenta de micro-simulação aliada aos procedimentos de sistemas especialistas deve ser mais propagada, a fim de que seja possível diminuir a subjetividade nos processos de tomada de decisão do gerenciamento do tráfego. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um procedimento baseando-se em algumas premissas de um sistema especialista. Visto que não se elabora um programa

computacional, não pode ser considerado um sistema especialista, no entanto, é um procedimento que permite a geração de diversas regras que contribuem e servem de apoio à tomada de decisão. Os resultados obtidos no estudo de caso permitiram concluir que o procedimento proposto é capaz de responder adequadamente a essas situações.

É necessário um pensamento uníssono quanto à necessidade de relacionamento entre os diversos órgãos capazes de gerenciar uma situação de incidente. A interoperabilidade entre os gestores do sistema deve ser desenvolvida e apoiada para assegurar uma operação efetiva no local do incidente. A tecnologia pode melhorar o tempo de resposta ao incidente, a dissolução do local e a leveza de comunicação entre as diversas agências, mas a tecnologia não pode garantir que os parceiros estarão aptos a trabalhar juntos de uma forma adequada e eficiente enquanto houver diferenças ideológicas significativas e na aproximação existente entre eles.

Em relação ao modelo, houve uma limitação ao representar as categorias de veículos, pois o programa aceita apenas veículos, ônibus, caminhões e *carpools*. E a pesquisa de campo foi realizada incluindo as categorias táxis e vans/kombis. Para que esses percentuais fossem representados foram necessários artifícios de modelagem. Assim como foram desenvolvidos argumentos para colocação das linhas de ônibus, considerando que a área de estudo apresenta uma superposição de linhas de ônibus, tendo que considerar assim, as suas trajetórias.

Para delimitar a área de estudo não foi encontrada nenhuma teoria que fosse capaz de representar a área necessária. Chegou a pesquisar-se as teorias de cordão externo e interno, dentre outras, mas nenhuma delas considerava a área do estudo de caso da maneira como estava sendo pensado o procedimento. Com isso, partiu-se para a escolha de um eixo principal, suas entradas e saídas e o que fundamentou o limite desta área de estudo foi a disponibilidade de recursos financeiros e humanos para realizar a pesquisa de campo. Sendo assim, as interseções principais tiveram prioridade na coleta de dados.

Ainda que tenha sido atingido o objetivo do trabalho, apresentando um procedimento que possibilite utilizar alternativas de gerenciamento do tráfego para situações em que ocorram incidentes nas vias e tendo-o aplicado em um estudo de caso, o trabalho pode ser continuado pois é necessário que esse tipo de pesquisa continue para melhorar cada vez mais o sistema de transportes dos centros urbanos e conseqüentemente, o nível de serviços dos mesmos e a qualidade de vida da população.

Com o desenvolvimento do procedimento apresentado no trabalho e a elaboração do modelo do estudo de caso, surgiram outras idéias de como poderia ser utilizado o modelo que não foram contempladas, principalmente devido à limitação do tempo, tais como:

- Comparação dos parâmetros estabelecidos – variáveis de tráfego, uma vez que o *software* proporciona diversas possibilidades de resultados e foram selecionados e utilizados três desses parâmetros. Além disso, pode-se ter como referência outros pontos críticos da cidade do Rio de Janeiro.
- Utilização do modelo para fazer uma análise do meio-ambiente, verificar a viabilidade de relacionar a utilização de políticas de gerenciamento do tráfego em dias de incidentes com a redução da emissão de poluentes.

- O *software* TRAFNETSIM possibilita a colocação de fluxo de pedestres, podendo com isso haver uma variação nos tempos semafóricos. Com a utilização desse recurso, assim como outros, como a colocação de eventos de curta duração, o modelo pode ser detalhado. Sendo assim, recomenda-se a utilização das diversas ferramentas disponíveis para adequar o modelo ao mais próximo da realidade, independentemente da calibração, utilizando esses recursos para criar mais artifícios de modelagem.
- A análise de outros cenários no mesmo modelo, sobretudo utilizando os dados já pesquisados de volume de tráfego no entre-pico e compará-los com os resultados deste trabalho do horário de pico. Dentre os cenários que podem ser simulados, pode-se aproveitar o modelo e testar situações que não estejam relacionadas à incidentes, mas que podem resultar em um aumento da fluidez e um melhor gerenciamento do tráfego, como por exemplo, retirar os táxis de circulação, as vans possuírem faixas exclusivas à esquerda, dentre outras.

Em relação ao procedimento, sugere-se a implementação de um programa de gerenciamento de incidentes juntamente ao de gerenciamento do tráfego proposto, pois assim, haverá não apenas a alternativa ao congestionamento causado para o usuário, mas também uma maior rapidez na liberação das vias e dissolução dos incidentes (como por exemplo, no caso de remoção de feridos de um acidente).

Sugere-se para trabalhos futuros, por fim, a realização de outros estudos utilizando o TRAFNETSIM em diversos centros urbanos de cidades de médio e grande porte do país, visando não apenas aprimorar os sistemas de gerenciamento de tráfego e alcançar uma maior adequação às cidades brasileiras, como também propagar esse procedimento e o uso da micro-simulação em realidades distintas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMSYS, 2004. Traffic Congestion and Reliability: Linking Solutions to Problems – Final Report. July 19, 2004. Desenvolvido por FHWA, Cambridge Systematics, Inc. e Texas Transportation Institute.
- CNT/COPPEAD, 2002, “Diagnóstico e Plano de Ação – O caminho para o transporte no Brasil”.
- DITTBERNER, R.A. e KNER, R. T., 2002, “Past President’s Award Paper: Traffic Simulation in Congested Urban Networks: Pennsylvania Avenue Case Study”. Institute of Transportation Engineers – ITE Journal, v.72, n. 10 (outubro), pp.36-41.
- FREITAS, I. M. D. P., 1999. *Metodologia de Avaliação Multicriterial para Seleção de Alternativas Tecnológicas e de Tratamento Preferencial na Circulação do Tráfego para o Transporte de Média Capacidade*. Tese de D.Sc, PET-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ITS AMERICA, 2005. Houston TranStar Featured Nationally in Broadcast and Print Media. Disponível em: <http://www.itsa.org/itsnews.nsf/> Acesso em: 22 jun. 2005.
- ITS CANADA, 2004. An Intelligent Transportation Systems Plan for Canada: en route to Intelligent Mobility. Disponível em: <<http://www.its-sti.gc.ca>>. Acesso em: 25 jun. 2005.
- JOHNSON, M. C. e THOMAS, E. L, (2000). Incident Management Successful Practices – a cross-cutting study. Improving Mobility and Saving Lives. FHWA.
- MAIOLINO, C. E. G., 1992. *Sistema Especialista para Implantação de Semáforos*. Tese de M.Sc, PET-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NAM, D., MANNERING, F., 2000, “An Exploratory Hazard-based Analysis of Highway Incident Duration”. Transportation Research Part A, v. 34, pp. 85-102.
- POYARES, C. N., 2000. Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais. Tese de M.Sc, PET-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SCHRANK, D. e LOMAX, T., 2005. The 2005 Urban Mobility Report. Texas Transportation Institute.
- SOUSA, D.L.M., 2003, *Análise dos impactos causados no tráfego por alterações na rede viária, utilizando micro-simulação*. Tese de M.Sc, PET-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SOUSA, D.L.M., e RIBEIRO, P. C. M., 2004, “Análise dos impactos causados no tráfego por alterações na rede viária, utilizando micro-simulação”. *Anais do XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, v. 1, pp. 441-452 Florianópolis.