

INDICADORES DE DESEMPENHO PARA SISTEMAS CENTRALIZADOS DE CONTROLE DO TRÁFEGO URBANO EM TEMPO REAL

Hamifranco Brito Meneses

Carlos Henrique Pires Leandro

Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza – CTAFOR
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 intensificação do congestionamento nas grandes cidades tem levado as autoridades a investir em alternativas menos custosas e mais eficientes de aumento de capacidade viária, como sistemas centralizados de controle semafórico. Contudo, uma correta alocação de recursos requer critérios para avaliar os objetivos estabelecidos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma discussão teórica e prática sobre a definição e o uso de indicadores de desempenho para avaliar objetivos de sistemas de gestão do tráfego urbano. Inicialmente, são apresentados conceitos básicos sobre a definição de indicadores de desempenho para aferir a eficiência e a eficácia da gestão do tráfego urbano. Em seguida, são descritos os principais objetivos gerenciais do sistema CTA de Fortaleza e seus respectivos indicadores de desempenho, incluindo formulação matemática e exemplos de aplicação prática, implementados numa base SIG, o que permitiu agregar o atributo espacial e facilitar a compreensão dos resultados obtidos com a determinação destes indicadores.

ABSTRACT

The intensification of the traffic congestion phenomenon in the big cities has led the authorities to invest in less expensive and more efficient alternatives to increase urban network capacity, such as centralized urban traffic control systems. However, the correct resources allocation requires defining criteria to evaluate the established objectives. In such a context, this paper presents a theoretical and practical discussion about the definition and the application of performance measures to evaluate the objectives set to urban traffic management systems. Firstly, some basic concepts are presented regarding the definition of performance measures to evaluate the efficiency and the effectiveness of urban traffic management. After that, this paper describes the main management objectives of Fortaleza's UTC system and its performance measures, including mathematical formulation and examples of practical applications implemented on a GIS platform, what allowed to incorporate the data spatial attribute and make it easier to understand the MOE's end results.

1. INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de otimização da circulação viária nas grandes cidades, a gestão municipal do tráfego tem papel importante no aumento de produtividade das atividades sociais e econômicas e conseqüente melhoria da qualidade de vida das populações urbanas (Araújo e Portugal, 2001). Desta forma, algumas capitais brasileiras, como São Paulo, Rio de Janeiro e Fortaleza, têm implantado sistemas centralizados de controle do tráfego urbano (sistemas CTA) para promover uma gestão mais eficiente e eficaz dos deslocamentos viários (Loureiro *et al.*, 2002). Os sistemas CTA promovem o monitoramento e a otimização da circulação viária, viabilizando a mitigação do congestionamento urbano por meio de aumento de capacidade viária, podendo contribuir também para a redução da emissão de poluentes, do número de acidentes, do atraso e do tempo de viagem dos usuários da rede viária urbana. Contudo, faz-se necessário avaliar a eficiência e a eficácia da operação destes sistemas, por meio de indicadores de desempenho capazes de medir as condições de congestionamento da malha viária urbana.

Entretanto, a mensuração do nível de congestionamento do tráfego urbano ainda é feita de forma pouco satisfatória (Boarnet *et al.*, 1998), devido ao caráter subjetivo e dinâmico deste fenômeno urbano, e ao grande volume de dados gerados, especialmente no caso de sistemas

CTA de tempo real. Além disto, dependendo da aplicação e do usuário fim, o congestionamento urbano pode ser medido em diferentes escopos espaço-temporais, níveis de detalhes e acurácia, e para distintos modos de transportes. Frente a esta necessidade de avaliação da gestão do tráfego urbano, este trabalho tem como objetivo apresentar os indicadores de desempenho definidos para auxiliar a aferição dos objetivos de gestão do tráfego estabelecidos pelo quadro técnico do sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR).

2. CONCEITO DE CONGESTIONAMENTO

Thurgood (1995) define congestionamento como as condições de operação viária em que a qualidade do fluxo de tráfego se deteriora além do nível aceitável pelo usuário, resultando em um conjunto de externalidades negativas: aumento do tempo de viagem e do atraso, da emissão de poluentes, do número de acidentes, da poluição sonora, etc. A definição do nível aceitável de congestionamento varia conforme o usuário, o modo de transporte, o período de tempo (hora do dia, dia da semana e/ou ano) e a localização geográfica.

Embora a definição de congestionamento seja subjetiva, este fenômeno pode ser caracterizado por quatro componentes básicos, conforme Lomax *et al.* (1997): duração, extensão, intensidade e periodicidade. A duração define o período de tempo ao longo do dia no qual o congestionamento afeta parcial ou totalmente a rede viária urbana. A extensão estima o número de pessoas ou veículos afetados pelo congestionamento, a partir da distribuição geográfica das áreas congestionadas. A intensidade diz respeito à severidade do congestionamento, em termos de níveis distintos: moderado, pesado e severo. A definição dos limites de cada classe de congestionamento é subjetiva e condicionada à perspectiva do usuário da rede viária. A periodicidade trata da variação de ocorrência do congestionamento, podendo ser de dois tipos: recorrente e não recorrente. O primeiro caracteriza situações congestionadas periódicas, devido à superação da oferta viária pela demanda e/ou a ineficiência do equipamento de controle. O segundo diz respeito a situações aleatórias, provocadas por incidentes de tráfego esporádicos. Os congestionamentos recorrentes são mais fáceis de prever que os não recorrentes, mas requerem medidas mitigadoras mais custosas e que levam tempo para implementar.

A aferição dos componentes básicos do congestionamento urbano pode ser feita por meio da medição de suas externalidades: aumento de tempo de viagem, aumento de poluição (sonora e atmosférica), menor segurança viária, redução de mobilidade e acessibilidade urbana. Essas externalidades têm como consequência uma piora na qualidade de vida, com impacto direto sobre a saúde pública (Levinson e Lomax, 1996). Assim, a quantificação destas externalidades é fundamental para orientar ações gerenciais sobre o tráfego urbano que mitiguem os impactos negativos decorrentes do congestionamento viário. Esta quantificação deve ser feita por meio de indicadores de desempenho da gestão do tráfego urbano.

2. DEFINIÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO URBANO

A definição de indicadores de desempenho da gestão do tráfego urbano está condicionada aos objetivos estabelecidos pelo órgão gestor municipal (Banks, 1998). Entretanto, a especificação de um indicador “ideal” deve atender aos seguintes critérios: facilidade de compreensão; definição formal; consistência; aplicabilidade a múltiplos modais de transporte urbano; baixo custo de determinação; procedimentos simples de coleta de dados; viabilidade

de determinação para múltiplas entidades geográficas; períodos temporais e níveis de detalhe (Lomax *et al.*, 1997).

Contudo, dificilmente um indicador de desempenho apresentará versatilidade suficiente para atender a todos estes critérios. Na verdade, a definição de um indicador deve ser orientada principalmente pelo nível de análise, a aplicação e os usuários fins, sempre visando à aferição de um dado objetivo da gestão do tráfego urbano. A escala de análise varia entre as opções: entidades discretas e isoladas (ex. interseções), trechos de vias, corredores de tráfego, rotas de viagem, redes viárias e área de controle. Para cada um destes níveis de análise são recomendados tipos distintos de indicadores (Chin *et al.*, 1999). Assim, em níveis mais desagregados, como entidades isoladas e trechos de via, é recomendado o uso de indicadores absolutos e desagregados no espaço e no tempo. Já nos níveis mais agregados de análise, como corredor e redes viárias, podem-se valer de indicadores acumulados no espaço-tempo, como taxas relativas (ex. minutos de atraso por km de corredor) ou índices abrangentes (ex. índice de congestionamento de rede).

Quanto à aplicação e aos usuários fins, a definição de indicadores deve viabilizar informações consistentes e abrangentes, capazes de caracterizar a eficiência e a eficácia de realização de um dado objetivo da gestão do tráfego, de uma forma simples e perceptível pelo usuário. Assim, a visualização dos resultados dos indicadores é fundamental para transmitir a informação de modo sintetizado e atraente para o usuário. No caso de sistemas de transportes, a visualização espacial e/ou gráfica (qualitativos e/ou quantitativos) de indicadores de desempenho, em diferentes níveis de agregação espaço-temporais, facilita a compreensão do usuário e revela informações não triviais sobre as condições operacionais do tráfego urbano, tendo em vista a agregação do atributo espacial ao processo de análise (Miller e Shaw, 2001).

3. DEFINIÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O SISTEMA CTAFOR

Conforme descrito em Loureiro *et al.* (2002), o sistema CTAFOR, implantado em 2001 na área mais congestionada da malha viária de Fortaleza, abrange atualmente o controle de 151 interseções semaforizadas (em uma área de 55 km²), compreendendo três sub-sistemas: CFTV, PMV e *Split Cycle Time and Offset Optimization Technique* (SCOOT). O primeiro permite o monitoramento remoto do tráfego por meio de um circuito fechado de televisão, formado por 30 câmeras. O segundo viabiliza a disseminação de informações aos usuários, por meio de painéis de mensagens variáveis. O terceiro otimiza em tempo real o controle semafórico de interseções semaforizadas com base em dados coletados em campo automaticamente.

Durante o processo de otimização semafórica, o SCOOT modela e armazena os dados coletados pelos detetores veiculares numa base de dados denominada ASTRID, que fica à disposição dos técnicos. Esta base viabiliza informações das condições de tráfego na forma de 18 variáveis distintas, disponíveis em até sete tipos de entidades viárias modeladas pelo SCOOT. Esta base é modelada para períodos horários mínimos de 15 minutos, sendo armazenado dados para até 12 meses (Peek, 2001). Desta forma, o sistema CTAFOR dispõe de uma base de dados do tráfego na área controlada que pode subsidiar a determinação de indicadores de desempenho relativos à gestão do tráfego urbano em Fortaleza. Contudo, o cálculo de indicadores pressupõe a definição dos objetivos que estes indicadores devem

permitir avaliar. Portanto, foi desenvolvido um esforço conjunto do quadro técnico do CTAFOR para determinar os objetivos de interesse e seus respectivos indicadores.

Visando facilitar a percepção do conceito de indicadores de desempenho do tráfego, foi apresentado aos técnicos do CTAFOR um conjunto de 19 indicadores obtidos junto à literatura especializada. Em seguida, foram realizadas dinâmicas de grupo para sociabilizar os conhecimentos apontados em entrevistas realizadas individualmente com cada técnico, de modo a promover o consenso a respeito dos objetivos a serem avaliados e seus respectivos indicadores. Os resultados destas atividades estão apresentados na Tabela 1. Apesar de vários dos indicadores levantados na literatura atenderem aos objetivos definidos, optou-se por trabalhar com indicadores menos complexos, na maioria calculada diretamente a partir das variáveis básicas simuladas pelo SCOOT e armazenada no ASTRID.

Tabela 1: Objetivos gerenciais do CTAFOR e seus respectivos indicadores de desempenho

| Objetivos gerenciais do CTAFOR | Indicador de desempenho |
|---|--|
| Diagnóstico espaço-temporal de pontos críticos de congestionamento recorrente | Atraso veicular médio (AVM), Congestionamento (CNG) Comprimento de fila de veículos (CFV) |
| Diagnóstico da fluidez do tráfego urbano | Índice de velocidade operacional (IVO) Velocidade operacional (VO) Número de paradas de veículos (NPV) |
| Avaliar a configuração espacial de sub-áreas de controle de tráfego | Percentual de atraso veicular percentual por sub-área (PAV), relativamente ao tempo de viagem |
| Subsidiar a atualização da programação semafórica de tempo fixo | Desvio padrão móvel do fluxo de tráfego (DMF) |

4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DOS INDICADORES PROPOSTOS

A Tabela 2 apresenta a formulação matemática dos indicadores propostos pelos técnicos do CTAFOR. Os três primeiros indicadores (AVN, CNG, CFM) atuam em conjunto para permitir o diagnóstico espaço-temporal de pontos críticos de congestionamentos recorrentes na malha viária urbana. Para tanto, os modelos de visualização destes indicadores são integrados a uma dimensão espacial numa plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo representados espacialmente no nível de logradouros (*link*). Já os três indicadores subsequentes (VO, NPV e IVO) são agrupados num mesmo modelo de visualização espacial para auxiliar a caracterização da fluidez do tráfego urbano. Os indicadores VO e NPV são representados em ambiente SIG por meio da entidade geográfica *link*, enquanto o indicador IVO é modelado pela entidade rota.

Todos os dados necessários para o cálculo dos indicadores propostos, levando em conta diferentes janelas de tempo e níveis de agregação, podem ser capturados do ASTRID por meio da interface lógica desenvolvida por MENESES (2003), denominada de TRANSCOOT. Esta interface permite a modelagem e o referenciamento espacial, na plataforma SIG-T TransCAD, dos dados coletados e simulados pelo SCOOT. Sem a utilização desta interface, tornar-se-ia inviável o processo de determinação dos indicadores, já que o *front end* do ASTRID só permite a consulta a um único elemento viário (ex. *link*) por vez, além de exportar os dados em formato difícil de ser modelado dentro da plataforma SIG.

Tabela 2: Formulação matemática dos indicadores de desempenho do CTAFOR

| Formulação | Descrição de parâmetros | Escopo | |
|---|---|-------------|--|
| | | Espacial | Temporal |
| $AVM_i = \frac{\sum_{t=1}^n a_{i,t}}{n}$ | <p>AVM_i: atraso veicular médio (s) num <i>link</i> “i” para um mesmo período “t” (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$a_{i,t}$: atraso veicular (s) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT;</p> <p>n: número de períodos de 15 minutos usados.</p> | <i>link</i> | 15 minutos |
| $CNG_i = \frac{\sum_{t=1}^n c_{i,t}}{n}$ | <p>CNG_i: congestionamento (%) médio num <i>link</i> “i” para um mesmo período “t” (15 min), ao longo de um período de dias;</p> <p>$c_{i,t}$: congestionamento (%) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | <i>link</i> | 15 minutos |
| $CFM_i = \frac{\sum_{t=1}^n f_{i,t}}{n}$ | <p>CFM_i: comprimento de fila médio (veic) num <i>link</i> “i” para um mesmo período “t” (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$f_{i,t}$: comprimento de fila (veic) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | <i>link</i> | 15 minutos |
| $VO_i = \frac{\sum_{t=1}^n v_{i,t}}{n}$ | <p>VO_i: velocidade operacional média (km/h) num <i>link</i> “i” para um mesmo período “t” (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$v_{i,t}$: velocidade oper. (km/h) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | <i>link</i> | 15 minutos |
| $NPV_i = \frac{\sum_{t=1}^n p_{i,t}}{n}$ | <p>NPV_i: nº médio de paradas de veículos (veic) num <i>link</i> “i” para um mesmo período “t” (15 min), ao longo de um período de dias;</p> <p>$p_{i,t}$: número de paradas (veic) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | <i>link</i> | 15 minutos |
| $IVO_r = \frac{\sum_{i=1}^m VO_i}{m}$ | <p>IVO_r: velocidade operacional média (km/h) numa rota “r” composta por “m” <i>links</i>, para um mesmo período “t” de 15 min, ao longo de um dado período de dias;</p> | rota | 15 minutos |
| $PAV_a = 100 * \frac{\sum_{i=1}^k \left(\sum_{t=1}^p (a_{i,t} * q_{i,t}) \right)}{\sum_{i=1}^k \left(\sum_{t=1}^p (T_{i,t} * q_{i,t}) \right)}$ | <p>PAV_a: atraso veicular médio relativo (%) de uma área “a” composta por “k” <i>links</i>, para um período de horas com “P” períodos de 15 minutos;</p> <p>$T_{i,t}$: tempo de viagem (s) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | área | Uma ou mais horas no pico ou entre pico de demanda de tráfego |
| $DMF_{a,H} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^H (F_{a,t} - MMF_{a,H})^2}{H}}$ $F_{a,t} = \frac{\sum_{i=1}^k q_{i,t}}{k}$ $MMF_{a,H} = \frac{\sum_{t=1}^H F_{a,t}}{H}$ | <p>$DMF_{a,H}$: desvio padrão móvel do fluxo de tráfego numa área “a” composta por “i” <i>links</i>, para um período horário “H” com quatro períodos de 15 minutos;</p> <p>$F_{a,t}$: fluxo médio de tráfego nos “k” <i>links</i> que compõe uma área “a”, para um período de tempo de 15 min;</p> <p>$MMF_{a,H}$: valor médio dos $F_{a,t}$ calculados para períodos de uma hora defasados por intervalos de 15 minutos consecutivos. Por exemplo: 7-8h e 7:15-8:15 h etc;</p> <p>$q_{i,t}$: fluxo de tráfego (veic/h) num <i>link</i> “i” num período “t” de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p> | área | Períodos consecutivos de uma hora, defasados por intervalos de 15 min. |

4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DOS INDICADORES PROPOSTOS

De modo a ilustrar a aplicação dos seis indicadores propostos, foi selecionado um conjunto de *links* que representam as vias principal e transversais de uma parte do corredor arterial da Av. Pontes Vieira, sob controle do sistema CTAFOR. Em seguida foram determinados valores destes indicadores para cada *link* e rota para o horário de 7:00 às 7:15 horas de uma segunda-feira típica, agregando valores de todas as segundas-feiras dos meses de agosto a novembro de 2002, exceto os dias atípicos e feriados. A Figura 1 apresenta a representação visual dos seis indicadores propostos, agrupados por objetivo a que se referem.

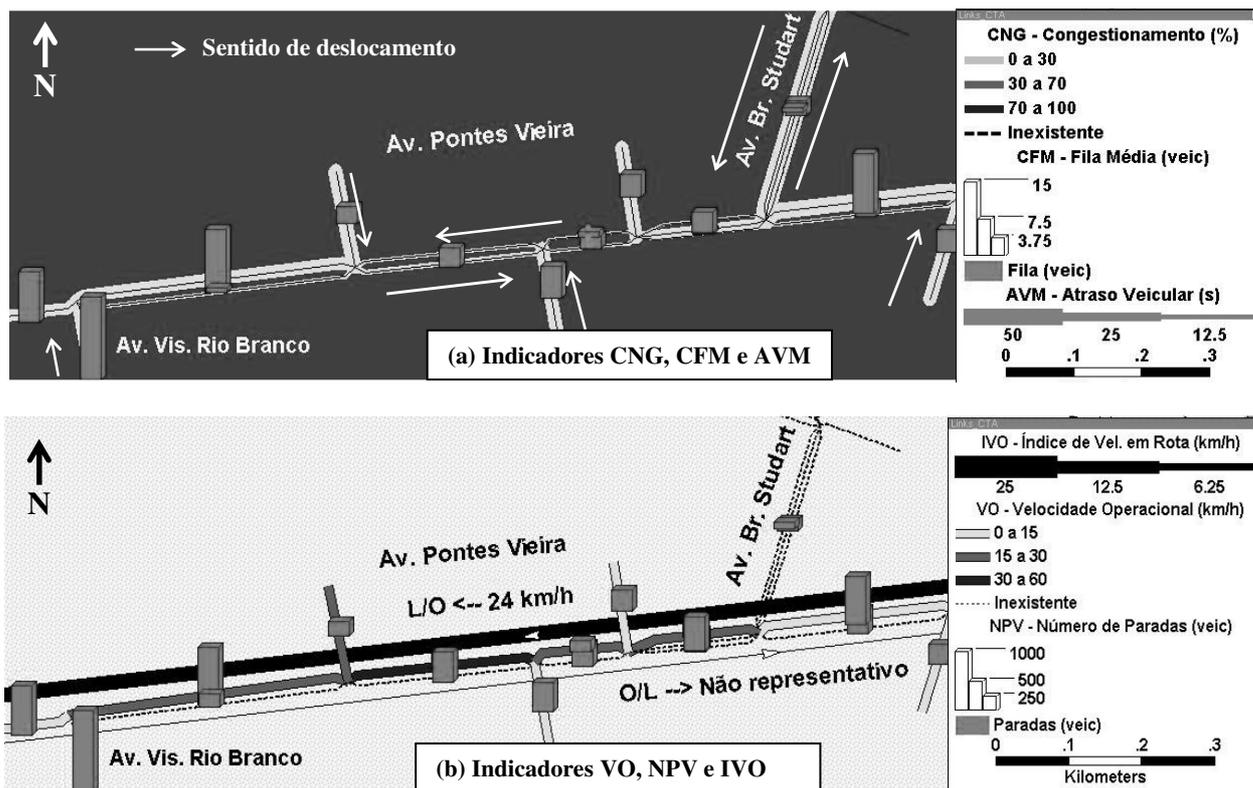


Figura 1: Representação espacial dos indicadores AVN, CNG, CFM (a), VO, NPV e IVO (b) para um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira, Fortaleza.

A análise da Figura 1a permite evidenciar pelos menos dois pontos críticos potenciais de congestionamentos recorrentes: o *link* sul da Av. Visconde do Rio Branco e o *link* leste da Av. Pontes Vieira, no cruzamento com a Av. Barão de Studart. Pode-se verificar que estes *links* possuem os maiores valores de fila e de atraso médios ao longo do período analisado.

Quanto à fluidez de tráfego, a Figura 1b demonstra que o sentido leste/oeste (L/O) de deslocamento na Av. Pontes Vieira apresenta média fluidez, com velocidade média de 24 km/h. Contudo, o início do referido trecho viário (link crítico localizado na aproximação leste do cruzamento semaforizado entre as Av. Pontes Vieira e Av. Barão de Studart) apresenta baixa velocidade média de tráfego, prejudicando o início da progressão. Parte desta redução de velocidade é explicada pelo atraso ocasionado pelo estágio de conversão à esquerda na Av. Pontes Vieira, que dá acesso à aproximação norte da Av. Barão de Studart. Já no sentido oeste/leste (O/L), não é possível obter uma conclusão consistente a respeito da fluidez do

tráfego, tendo em vista que o SCOOT não modelou dados de velocidade para estes *links* no período em análise, devido à ausência de cadastro de parâmetros específicos neste sistema.

Por sua vez, o indicador PAV usa uma taxa relativa de atraso veicular para avaliar a configuração espacial de sub-áreas de coordenação semafórica. Esta taxa é determinada pela razão entre o atraso e o fluxo veiculares, devidamente ponderados pelo fluxo de tráfego. A ilustração deste indicador não foi possível neste momento, tendo em vista que sua aplicação prática está em fase de implementação.

Já o indicador DMF representa o desvio padrão móvel do fluxo de tráfego numa dada área de controle semafórico, de modo a subsidiar a programação dos instantes adequados de entrada de planos semafóricos de tempo fixo. Este indicador consiste no desvio padrão móvel das médias dos fluxos de tráfego de todos os *links* que compõem a área em estudo, devidamente calculadas para períodos de 15 minutos ao longo das horas úteis do dia. Assim, o referido desvio é calculado para vários períodos de uma hora, defasados de 15 minutos entre si (ex. 7:00/8:00h, 7:15-8:15h).

De modo a ilustrar a aplicação do DMF, o referido indicador foi calculado para a área de controle semafórico que abrange os *links* de um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira, em Fortaleza. Os cálculos foram feitos para o período de 6:00 às 21:00 horas de uma segunda-feira típica do mês de agosto de 2002, considerando todas as segundas-feiras deste mês, exceto os feriados e dias atípicos. A seguir, a Figura 2 apresenta os valores de DMF obtidos. A análise do gráfico permite definir os períodos horários adequados para a execução dos planos de tempo fixo numa segunda-feira típica de agosto, com base nos “platôs” de baixa dispersão do DMF.

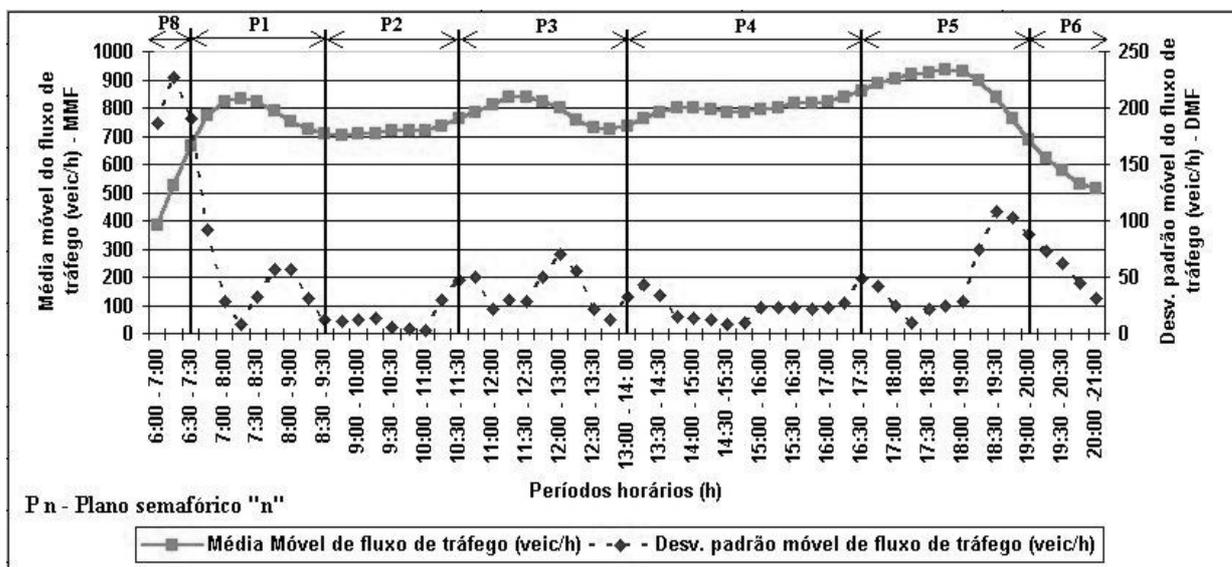


Figura 2: Representação gráfica do indicador DMF para a área de controle semafórico que abrange os *links* de um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira.

4. CONCLUSÕES

A eficiência e a eficácia de ações gerenciais sobre o tráfego urbano dependem da avaliação contínua dos objetivos estabelecidos, por meio de indicadores de desempenho. Os indicadores encontrados na literatura especializada apresentam formulações e escopos (espaço/tempo) normalmente complexos e de difícil interpretação prática. No caso do CTAFOR, a definição de medidas de performance para avaliar objetivos específicos buscou gerar indicadores com formulação matemática simplificada e interpretação intuitiva, valendo-se ainda do uso do atributo espacial para agregar informação e facilitar a compreensão dos resultados obtidos com a determinação destes indicadores.

Entretanto, cabe destacar que estes indicadores têm caráter preliminar, tendo em vista que a definição adequada de escalas e do escopo espaço-temporal de cálculo ainda deve ser reavaliada conforme às demandas operacionais e às decisões estratégicas do CTAFOR. Assim, é provável que seja necessário efetuar alguns ajustes nos procedimentos de determinação destes indicadores, de modo a torná-los mais atrativos e familiares aos técnicos gestores do tráfego urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, L. A. e L.da S. Portugal (2001) Um Procedimento de Análise do desempenho de Redes Viárias Urbanas Relacionadas com a Qualidade de Vida. *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Campinas, SP, Vol. 1, p. 199-207.
- Banks, J. H. (1998) Performance Measurement for Traffic Management Systems. *Transportation Research Board*, The 77 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- Boarnet, M. G.; E. J. Kim e E. Parkany (1998) Measuring Traffic Congestion. *Transportation Research Board*, The 77 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- Chin, S.; D. L. Greene; J. Hopson; H. Hwabg e B. Thompson (1999) Toward National Indicators of Vehicle Travel and Traffic Congestion Based on Real-Time Traffic Data. *Transportation Research Board*, The 78 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- Loureiro, C. F. G.; C. H. P. Leandro; M.V.T. de Oliveira (2002) Sistema Centralizado de Controle do tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- Lomax, T. J.; S. Turner e G. Shunk (1997) Quantifying Congestion User's Guide – Report 398 – Volume 2. *Transportation Research Board*, National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Levinson, S. H. e T. J. Lomax (1996) Developing a Travel Time Congestion Index. *Transportation Research Board*, The 75 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- Meneses, H. B. (2003) *Interface lógica em ambiente SIG para bases de dados de sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Miller, H. J. e S. Shaw (2001) GIS-Based Spatial Analysis and Modeling. *Ins: Oxford University Press (eds) Geographic Informaion Systems for Transportation: Principles and Applications*, London, UK.
- Peek (2001) *Operator Manual – ASTRID*. Volume D, Peek Traffic LTD, London, UK.
- Thurgood, G. S. (1995) Development of a Freeway Congestion Index Using an Instrumented Vehicle. *Transportation Research Board*, *The 74 th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.