

## ARTIGO

# ESCOLHA DE SUB-ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO CENTRALIZADO POR COMPUTADOR: UMA METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO.

**João Bosco Furtado Arruda**

Departamento de Engenharia de Transportes  
Universidade Federal do Ceará

**Maria Elizabeth Pinheiro Moreira**

Departamento de Engenharia de Transportes  
Universidade Federal do Ceará

---

### RESUMO

Este artigo reporta uma metodologia de baixo custo para definição de sub-áreas de sistemas de controle de semáforos centralizados por computador (sistemas CTA).

A utilização da técnica DELPHI de geração de consenso com um grupo de especialistas em Transportes e Uso do Solo, atuando cotidianamente na área de estudo, em conjunto com ações simplificadoras do cálculo dos benefícios advindos do controle centralizado de semáforos, bem como a utilização tanto de conceitos de vinculação de interseções interdependentes operacionalmente quanto de dados secundários da área de estudo, servem de base à definição das interseções que deverão compor o sistema CTA naquela área.

O artigo ilustra uma aplicação da metodologia reportada para a definição das interseções que irão compor a primeira etapa do sistema CTA ora em projeto na cidade de Fortaleza, Ceará.

## ABSTRACT

This paper reports a simplified methodology built with the aim of choosing intersections which must form an Area Traffic Control (ATC) system.

The intersections which make up the ATC system are determined using a DELPHI technique with a group of traffic engineering and land-use experts working daily in the study area as well as simplifying the process of working out the benefits of synchronization for the intersections which comprise that area.

Also, concepts of intersections linkage, in terms of operational interdependence, are used conjointly with secondary data gathered in the study area to find the intersections most appropriated for the ATC system under consideration.

Finally, an application of the methodology for the case of Fortaleza, a two-million inhabitants city in North-eastern Brazil, is illustrated in the paper.

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que sistemas de controle semaforico centralizados por computador (sistemas CTA) envolvem complexas e, normalmente dispendiosas, tecnologias de *hardware* e *software* e exigem uma grande massa de dados para que seu projeto se realize em bases tecnicamente eficazes.

Além disso, a implantação de um sistema CTA exige um razoável grau de capacitação da equipe que ficará responsável por sua operação, sob pena de não se utilizar adequadamente o seu potencial como eficiente instrumento de gestão dos fluxos de tráfego na área onde será implantado.

A equipe que utiliza e monitora um sistema complexo como um sistema

CTA deve manejá-lo de modo gradual e compatível com a rápida eliminação de êrros de gestão decorrentes de inexperiência ou situações não previstas.

Assim, a implementação de um sistema CTA por partes ajuda enormemente na formação de *know-how* operacional além de atender requisitos de viabilidade diante de recursos usualmente escassos dos órgãos públicos de gestão do tráfego urbano nos países em desenvolvimento.

Em vista desse quadro, este artigo descreve uma metodologia desenvolvida para definição de áreas onde se deve implantar um sistema de controle semafórico centralizado por computador.

Essa metodologia foi elaborada com o intuito de reduzir custos com a coleta de dados necessários à avaliação tradicional do custo-benefício ligado à implantação de sistemas sofisticados de gerência semafórica centralizada.

Uma aplicação dessa metodologia foi feita dentro do “Estudo para Implantação do Sistema de Controle de Tráfego por Área de Fortaleza-CTA/FOR”, desenvolvido sob abrigo de convênio firmado entre a Universidade Federal do Ceará e o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN\CE) e essa aplicação está, também, aqui reportada.

É interessante notar-se que, no caso do CTA/FOR, muitos dos dados atualizados e necessários ao cálculo dos custos e benefícios não estavam disponíveis e o tempo e recursos de que dispunha a equipe de projeto inviabilizavam uma ampla pesquisa de campo.

## **2. DEFINIÇÃO DE ÁREAS PARA CONTROLE SEMAFÓRICO CENTRALIZADO: UMA INCURSÃO NA LITERATURA.**

À medida que as grandes cidades enfrentam crescentes problemas de gerência de tráfego, sistemas de controle semafórico centralizado por computador são cada vez mais usados.

As tecnologias hoje disponíveis para controle de tráfego por área (sistemas CTA) permitem o cálculo e modificação em tempo real de planos semaforicos e possibilitam grande flexibilidade na configuração de sub-áreas de controle, ultrapassando limitações de hardware dos sistemas mais antigos (ver Hounsell e McDonald, 1990).

No entanto, limitações de recursos orçamentários e a necessidade das equipes locais de gerência de tráfego adquirirão experiência no trato desse sofisticado sistema de controle têm induzido a implementação de gerência semaforica por partes, com equipamentos por sub-áreas, em inúmeras cidades do mundo.

Assim, a implantação de sistemas CTA necessita de estudos não só para a determinação de sub-áreas específicas a priorizar como também de especificações adequadas do sistema a utilizar que contemplem questões vitais tais como o uso de um protocolo de comunicação comum às várias sub-áreas que permita e facilite a expansão do sistema (ver discussão em Ribeiro, 1993).

A avaliação da prioridade de uma dada interseção viária, para efeito de sua inclusão em um sistema CTA, considera normalmente aspectos econômicos (razão benefício-custo), operacionais (volumes de veículos solicitando cada interseção e a importância estratégica dessas interseções na rede viária da área de estudo), e físico (geometria das vias e uso do solo circunjacente). A escolha de sistemas CTA tem se baseado historicamente não só nos fatores citados anteriormente, mas também em fatores tecnológicos de *hardware* e *software*.

No Brasil, desde a instalação em caráter pioneiro do SEMCO, em São Paulo (1982)<sup>1</sup>, a influência das restrições tecnológicas na escolha de sub-áreas tem diminuído em virtude do rápido desenvolvimento das tecnologias de *hardware* e *software* vinculadas ao controle centralizado de tráfego por área, de modo que o peso da escolha de sistemas CTA em algumas cidades tem se deslocado para os fatores de ordem operacional e econômica.

Assim, a opção atual tem sido cada vez mais por sistemas de controle em tempo real e os estudos de viabilidade tem priorizado as interseções a incluir no sistema CTA em função de seus índices individuais de benefício\custo (ver BHTRANS, 1996 e CET, 1990).

Por outro lado, o problema da subdivisão de uma rede viária, para efeito da instalação de um grupo de semáforos coordenados em área, tem sido pouco estudado na literatura sob um enfoque operacional mais rigoroso do ponto de vista científico.

Como resultado de pesquisa bibliográfica feita pelos autores deste artigo, além do bem conhecido *índice de interdependência* definido por Robertson (Robertson *et alli*, 1980) somente três outros estudos foram encontrados que abordam aquele problema, quais sejam:

Al-Khalili (1975) propôs critérios para definição de sub-áreas objetivando minimizar atrasos e paradas de veículos na área de estudo. Demonstrou que os atrasos e paradas são minimizados quando os cruzamentos de uma sub-área apresentam ciclos ótimos variando no intervalo de - 20 % a + 40 % do ciclo ótimo da principal interseção naquela sub-área. No entanto, ele ressalta algumas considerações que devem nortear a escolha das sub-áreas e que estão relacionadas à proximidade das interseções, aos limites das sub-áreas, à adequação das vias arteriais e secundárias aos esquemas de coordenação semafórica; e aos sistemas de transmissão de dados.

Moreira *et alli* (Moreira *et al.*, 1988) utilizaram a técnica de partição de elementos de um sistema, proposta por Warfield (Warfield, 1974), e desenvolveram um método de análise estrutural aplicada à definição de sub-áreas do tráfego urbano. Este método foi aplicado à área central de Fortaleza, composta por 85 interseções das quais 53 estavam, na época, controladas por semáforos.

<sup>1</sup> O porte e arquitetura do SEMCO exigiu sua divisão em 44 sub-áreas com características próprias de tráfego e interseções operando de modo interdependente (ver Bozola *et al.*, 1983).

Silva (1992) utilizou técnicas de grafos em uma metodologia de particionamento de redes de semáforos em sub-áreas de controle de tráfego tentando preservar o potencial de sincronismo e coordenação da rede como um todo. A aplicação da metodologia ao sistema semaforico da cidade de Curitiba revelou um aceitável grau de praticidade dessa metodologia.

Finalmente, cabe ressaltar a complexidade da temática ora abordada. É sabido que a definição de um conjunto de sub-áreas depende da especificação do sistema CTA e que este, por sua vez, deve levar em consideração as sub-divisões das interseções na área de estudo. Na prática, um compromisso interativo deve estar subjacente à avaliação global de sistemas CTA em uma dada área de estudo.

### 3. A TÉCNICA DELPHI

A Técnica Delphi foi criada por Olaf Helmer, da Rand Corporation, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de consenso (não necessariamente unânime) entre especialistas e ajudar seus esforços de estimação em situações onde existe grande carência de dados sobre o fenômeno analisado.

Os objetivos da aplicação da técnica devem ser atingidos evitando-se qualquer troca direta de idéias entre os participantes do experimento, ao mesmo tempo em que se fornece um adequado procedimento de retro-alimentação para permitir aos participantes repensarem e aperfeiçoarem sua decisão ou escolha da solução à questão em pauta.

Principalmente quando a questão em pauta é complexa e exige diferentes abordagens (multidisciplinares), a técnica Delphi tem um grande valor por permitir que a solução final incorpore as diferentes óticas envolvidas com o grupo de participantes.

No intuito de evitar dispersão no objetivo do experimento, o coordenador exerce um rigoroso controle na aplicação dos questionários, enfatizando nas instruções de seu preenchimento os pontos efetivos de interesse para análise pelos participantes.

Assim, as questões são apresentadas de modo claro e direto, e as respostas devem ser bem definidas claramente, na maioria das vezes em forma de avaliação quantitativa. As questões podem ser algo como:

- Duração e/ou oportunidade específica de um evento.
- O valor específico de algo.
- A probabilidade de ocorrência de um evento.
- A viabilidade ou deseabilidade de certas ações; etc.

A aplicação dos questionários é feita em turnos sucessivos e os instrumentos de retro-alimentação são parâmetros estatísticos como a mediana ( $M$ ) e os quartis inferior ( $Q_{25}$ ) e superior ( $Q_{75}$ ), obtidos no turno anterior, os quais são fornecidos para que o participante refaça sua estimativa ou julgamento da questão, ou reforce os argumentos que embasaram sua decisão anterior.

As pontuações ou estimativas afastadas da mediana do turno anterior, ou fora do intervalo interquartilico, devem ser explicadas por escrito pelo participante do experimento.

A análise, pelo coordenador do experimento, da distribuição das respostas individuais em relação à mediana obtida com cada turno lhe permite julgar o momento de fechar o experimento. A mediana do último turno pode ser assumida como um estimador da variável pesquisada. A dispersão dos quartis dá uma indicação da distribuição de probabilidade ao redor da mediana enquanto estimativa de ponto.

É importante observar-se que a Técnica Delphi não é usada para pressionar os participantes do experimento a adotarem uma posição unânime. Quando não existe convicção de resposta por um ou mais participantes do experimento, a maior variância na distribuição das respostas do grupo é facilmente acomodada e observada.

Obviamente, podem existir algumas dificuldades no emprego da técnica, o que tem dado margem à sua adaptação para problemas específicos. Assim, podem existir fatores tais como:

- i) Conformismo com a opinião predominante, ou seja, o valor da mediana do turno anterior influencia demasiadamente a reavaliação da resposta de um ou mais participantes;
- ii) O participante não tem disposição suficiente para justificar sua dissidência da resposta em grupo;
- iii) Por não dispor de bastante tempo, o participante faz uma análise apressada da questão e aponta argumentos fracos para sua resposta; e
- iv) A acuracidade da análise tende a cair com o número de turnos, já que as tarefas repetitivas são normalmente consideradas enfadonhas.

Dessa maneira, algumas medidas devem ser tomadas para estimular a tarefa de julgamento das questões e minimizar as dificuldades supramencionadas. Pode-se, por exemplo:

- i) Planejar cuidadosamente o experimento - questionário, instruções e treinamento (de preferência, apresentando um caso piloto para simulação no grupo de participantes, apresentando questões diferentes do caso original) ;
- ii) Garantir o anonimato, de modo a impedir a influência de um participante com personalidade mais forte sobre os demais; e
- iii) Estabelecer um prêmio para cada participante do experimento.

#### 4. A METODOLOGIA DE ESCOLHA DE ÁREA

Como foi visto no item 2, o problema da escolha de áreas para um sistema semafórico centralizado por computador é normalmente tratado em termos de análise de benefício/custo associado à implantação do novo sistema em cada cruzamento viário. Essa análise, no entanto, exige uma massa de dados de tráfego e o conhecimento antecipado dos equipamentos a utilizar.

No caso de escassez de tempo, dados ou recursos financeiros para



levantá-los, algumas hipóteses simplificadoras permitem o estabelecimento de uma metodologia, de baixo custo, de definição da área a controlar.

Essas hipóteses são:

- i) O número máximo de interseções a fazer parte da primeira etapa do sistema é uma função não só dos recursos financeiros disponíveis como também de limitações da tecnologia a empregar;
- ii) O sistema semafórico atual da área a controlar de maneira centralizada é "zerado", ou seja, os equipamentos existentes serão deslocados para interseções periféricas menos importantes do ponto de vista das estratégias de circulação do tráfego na área de estudo ;
- iii) A circulação do tráfego está racionalizada, ou seja, um plano de racionalização da circulação do tráfego deve ter sido implantado anteriormente à escolha da área a controlar ;
- iv) Técnicos das equipes dos órgãos locais envolvidas com a problemática do transporte/ uso do solo urbano sabem, por sua experiência profissional e cotidiana, hierarquizar as interseções na área de estudo em termos de sua importância, a qual é definida segundo alguns critérios pre-estabelecidos.

Os passos que compõem a metodologia de determinação da área a coordenar de forma centralizada estão mostrados na Figura 1 e são detalhados a seguir :

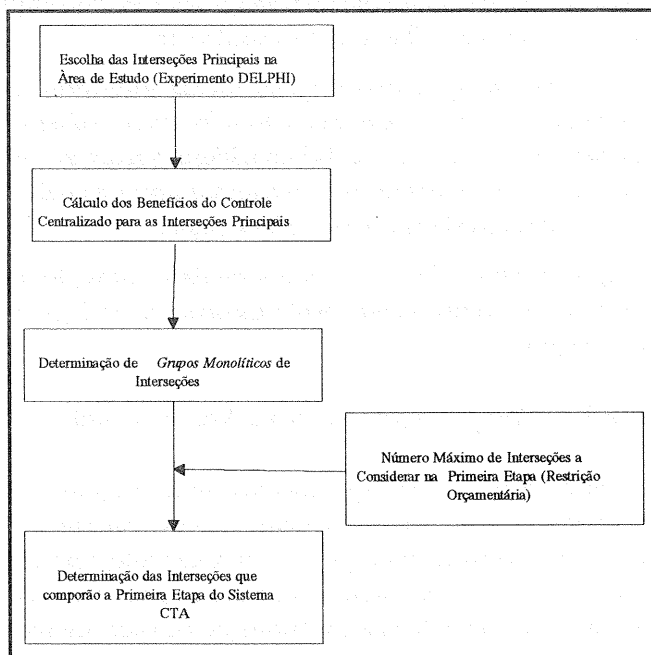
#### **4.1 Escolha das interseções principais na Área de Estudo.**

O uso da técnica Delphi em um experimento com uma equipe de técnicos locais responsáveis pelos vários aspectos da - ou intervenientes na - circulação do tráfego urbano pode gerar o conhecimento, com um grande grau de confiabilidade, das interseções mais importantes na área de estudo do ponto de vista de sua contribuição ao escoamento rápido, eficiente e seguro do tráfego.

Assim, uma vez estabelecidos claramente os critérios de avaliação das interseções, técnicos com experiência e trato cotidiano com os problemas da circulação do tráfego de veículos de passageiros (privado e coletivo) e de carga, ou com a interação do tráfego com o uso do solo na área de estudo, serão capazes de estabelecer uma hierarquização das interseções em termos daqueles critérios pre-estabelecidos.

O experimento Delphi garante que os vários enfoques de avaliação de uma dada interseção, decorrentes das diferentes experiências individuais, se somarão no consenso gerado pela técnica (conforme descrito no item 3 do presente artigo).

**Figura 1**  
Passos para a definição das interseções que comporão a 1ª Etapa do Sistema CTA.



#### **4.2. Cálculo dos benefícios do Controle Centralizado para as interseções principais.**

Os benefícios decorrentes do controle centralizado de um cruzamento viário podem ser definidos como a diferença entre os benefícios gerados pela utilização do novo equipamento e os benefícios do atual sistema de controle .

O cálculo dos benefícios devido à semaforização deveria levar em consideração não só a redução de atrasos aos veículos como também de acidentes no cruzamento viário analisado e outros fatores de impacto negativo no meio-ambiente.

Dados históricos de acidentes, que permitam prever ganhos em um dado cruzamento devido à implantação de semáforo, normalmente não estão disponíveis e a quantificação de impactos negativos do tráfego não é levada a cabo por ser uma tarefa vinculada a estudos específicos e não rotineiros na maioria das entidades responsáveis pela gestão do tráfego urbano no Brasil. Assim, para condições de cidades com poucos recursos alocados ao controle de tráfego, é recomendável que se trabalhe somente com os dados de atraso em interseções no processo de avaliação da implantação de novos sistemas semaforicos.

Szasz e Germani (1986) lembram que, fazendo-se a hipótese de que a implementação de um controlador mais sofisticado implica em uma redução percentual mais ou menos constante do atraso total nos cruzamentos, a ordenação pelos valores dos benefícios de um conjunto de cruzamentos é a mesma que sua ordenação pelos valores do atraso total em cada cruzamento.

Assim, tomando também por base a experiência de vários anos de gestão semaforica na cidade de São Paulo, Szasz e Germani sugerem como fórmula para cálculo aproximado do atraso total, em um semáforo isolado bem dimensionado, a seguinte expressão:

$$A_t = 0,35 V_t C_{ot} k \quad (1)$$

onde

$A_t$  - atraso total, em segundos por hora ;

$V_t$  - volume total da hora de pico, em unidades de carros de passeio por hora (upc/h);

$C_{ot}$  - ciclo ótimo, em segundos ; e

$K$  - (5 a 10) horas equivalentes de pico por dia<sup>2</sup>.

O parâmetro 0,35 decorre do fato, detectado empiricamente em São Paulo, que o atraso médio por veículo é de 30% a 40% do ciclo nas horas de pico e para um semáforo isolado e bem dimensionado.

Portanto, observa-se pela Equação 1 que, para efeito de ordenação dos cruzamentos viários em termos dos benefícios (em redução de atrasos) gerados pela semaforização coordenada, só é necessário conhecer os valores de  $V_t$  e  $C_{ot}$ .

#### 4.3 Determinação de Grupos "Monolíticos"<sup>3</sup> de interseções .

O principal parâmetro na definição de grupos monolíticos de interseções é o Índice de Conectividade ou Interdependência (Robertson *et al.*, 1980) o qual é dado por:

$$I = \frac{0,5}{1+I} \left( \frac{n \cdot q_d - 1}{\sum_{i=1}^n q_i} \right) \quad (2)$$

<sup>2</sup> É razoável considerar-se que as grandes cidades do Brasil tenham seu tráfego com 5 a 10 horas de pico por dia útil. No caso de Fortaleza, foi adotado  $k = 5$  horas.

<sup>3</sup> Define-se como um conjunto "monolítico" de interseções aqueles grupos de interseções que operam de tal maneira vinculados e interagentes que não há dúvidas sobre que devem fazer parte do mesmo bloco de sincronização.

onde

$I$  - índice de interdependência ;

$t$  - tempo de percurso (em minutos) entre as linhas de parada das duas interseções consideradas; é a razão entre a distância entre aquelas linhas de parada e a velocidade média do tráfego no trecho;

$n$  - número de faixas de tráfego nos canais de aproximação da interseção à montante que escoam veículos para a interseção à jusante (podem incluir tráfego direto mais tráfego com giro na interseção à montante) ;

$q_a$  - Fluxo de tráfego direto procedente da interseção à montante, em ucp ;

$q_i$  - fluxo da aproximação  $i$  do cruzamento à montante, em ucp.

Deve-se observar que o Índice de Interdependência varia de zero a 1,00. Valores de  $I$  acima de 0,43 sugerem que as interseções em consideração devem operar coordenadas; valores de  $I$  abaixo de 0,35 sugerem operação isolada e valores entre 0,35 e 0,43 sugerem indiferença de modo de operação (isolada ou coordenada).

Além deste, outros critérios devem ser utilizados na definição de conjuntos monolíticos tais como:

- i) Deve-se observar um limite máximo de 500 metros de distância entre cruzamentos;
- ii) Considerar existência de barreiras naturais e/ou artificiais entre os cruzamentos considerados;
- iii) Analisar a existência de pólos de geração de tráfego no trecho entre os cruzamentos em foco; etc.

#### **4.4. Definição das interseções que comporão a 1ª etapa do Sistema CTA**

Uma vez conhecida a hierarquia das interseções, em termos dos benefícios gerados com o controle semaforico centralizado, e dado que se conheça o número máximo de semáforos ( $J$ ) a usar na primeira etapa de implantação do sistema, pode-se estabelecer a relação que produz o número de cruzamentos a compor aquele sistema (em sua primeira etapa). Essa relação é dada por:

$$J \geq \sum_{i=1}^m (1 + n_i) \quad (3)$$

onde

*J* - número máximo de interseções a compor a etapa inicial do sistema de controle semafórico centralizado, o qual é função não só dos recursos financeiros disponíveis quanto de aspectos tecnológicos ligados ao projeto do sistema;

*i* - interseção principal ;

*n<sub>i</sub>* - número de interseções adjacentes ao cruzamento principal *i* e que com ele formam um grupo monolítico;

*m* - número máximo de interseções principais que satisfaz a Inequação 3.

Note-se que o número exato de cruzamentos a compor o sistema semafórico centralizado, em sua etapa inicial, é dado pelo segundo termo da Inequação 3.

## 5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA ESCOLHA DA ÁREA DO CTA/FOR

O Departamento Estadual de Trânsito do Estado do Ceará (DETRAN-CE) solicitou ao Departamento de Engenharia de Transportes, da Universidade Federal do Ceará, a elaboração de um estudo para implantação do sistema de controle semafórico centralizado por computador para Fortaleza (CTA/FOR).

As exigências de cronograma físico-financeiro de tal estudo levou ao desenvolvimento da metodologia descrita no item 4 pois não havia recursos nem tempo hábil para que se fizesse uma abrangente pesquisa de dados de tráfego necessários a uma avaliação convencional de benefício-custo da semaforização das interseções na área de estudo.

Assim sendo, programou-se um experimento *Delphi* que envolveu dez técnicos locais com larga experiência no trato com o sistema de tráfego de Fortaleza. Essa equipe constituiu-se de dois professores do DET/ UFC, dois técnicos da Divisão de Engenharia e tres técnicos da Divisão de Sinalização do DETRAN-CE, dois técnicos da Empresa Técnica de Transportes Urbanos de Fortaleza - ETTUSA<sup>4</sup>, e de um técnico do

Instituto de Planejamento do Município - IPLAM<sup>5</sup>.

Elaborou-se um questionário para avaliação do grau de importância de cada uma das interseções da área de estudo. Este questionário está ilustrado na Tabela 1. As instruções de preenchimento do questionário estabeleciam inicialmente oito critérios de julgamento do grau de importância da interseção no contexto da rede viária da área de estudo.

Após o primeiro turno do experimento (turno piloto), os participantes sugeriram mais outros critérios que foram incorporados ao conjunto de critérios que serviram de base à avaliação das interseções. Esses critérios foram:

- a) Magnitude dos fluxos de tráfego que demandam a interseção;
- b) A interseção como fator de impedância no sentido de deslocamento leste-oeste da cidade;
- c) A interseção como fator de impedância no sentido de deslocamento norte-sul da cidade;
- d) A interseção enquanto potencial de geração de circunstâncias de travamento de cruzamento à montante;
- e) Situação em área de grande densidade de uso do solo, com muitos pólos geradores de tráfego capazes de influenciar o desempenho de esquemas de controle da interseção;
- f) Situação de proximidade a equipamentos urbanos especiais (hospitais, escolas, clínicas de repouso, etc) que são impactados negativamente pelo tráfego;
- g) A interseção constitui importante ponto negro na rede viária da área de estudo;
- h) A interseção é muito utilizado por linhas de transporte coletivo por ônibus;

---

<sup>4</sup> Responsável pela gestão do sistema de transporte coletivo por ônibus da cidade.

<sup>5</sup> Responsável pelo controle do uso e ocupação do solo na cidade.

- i) A interseção é intensamente utilizado por pedestres;
- j) A interseção pertence a importante rota de caminhões;
- k) A interseção possui geometria e/ou topografia desfavorável à boa circulação, só corrigível com alto custo;
- l) A interseção possui canais de aproximação afetados por pontos de táxi ou estacionamento próximos.

No preenchimento do questionário, o participante do experimento justificava sua pontuação colocando as letras correspondentes aos critérios que nortearam seu julgamento. A letra x foi usada para designar que o respondente não tinha conhecimento suficiente sobre a interseção que permitisse uma avaliação criteriosa.

Foram necessários três turnos para se conseguir uma boa convergência das pontuações dadas pelos participantes do experimento a todos os cruzamentos da área de estudo. Considerou-se como boa convergência o fato dos quartis inferior e superior divergirem, no máximo, 25 % da mediana.

Ao final do experimento Delphi, 366 interseções da área de estudo foram ordenadas segundo uma sequência decrescente da mediana e as duzentos e setenta interseções de maior pontuação foram mapeadas com as informações disponíveis (fluxo de tráfego por aproximação, distância entre linhas de parada, fluxos de saturação, velocidade do tráfego, etc). Essas informações foram obtidas de estudos previamente desenvolvidos para o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Fortaleza-PDDU/FOR, em 1991, , bem como de outros estudos específicos elaborados pelo DETRAN/CE e a ETTUSA.

Algumas dificuldades quanto à obtenção de dados confiáveis foram encontradas, tendo sido necessário a estimativa de parâmetros para algumas interseções dentre as priorizadas no processo Delphi. Assim, foram estimadas algumas velocidades em trechos entre interseções com base nos dados de uma pesquisa da ETTUSA, feita em 1996.



Também, alguns volumes de tráfego tiveram que ser estimados a partir de dados obtidos em pesquisa do DETRAN\CE, feita em 1996, e o dimensionamento dos ciclos ótimos foi feito utilizando-se os valores dos fluxos de saturação das aproximações levantados para o PDTU\FOR, em 1991.

A partir dos dados de volume de tráfego e ciclo ótimo (para as interseções já semaforizadas) pôde-se estabelecer a hierarquia das interseções escolhidas no experimento Delphi, em termos dos benefícios gerados pelo controle semaforico centralizado (utilizando-se a Equação 1) e 77 interseções foram consideradas como principais, dado o elevado valor dos benefícios (ganhos em tempo de atraso) a elas associadas.

Por outro lado, o cálculo do *índice de interdependência* para cada par de interseções da área de estudo, envolvendo aquelas 77 principais interseções na hierarquia de benefícios gerados, possibilitou o mapeamento numérico desses índices (ver Figura 2). Este mapa, juntamente com outros critérios de agregação (como os definidos no item 4.3), serviram de base à definição dos grupos *monolíticos* de interseções na área de estudo.

O processo de definição dos grupos *monolíticos* foi feito a partir de cada interseção principal hierarquizada pelos benefícios, em ordem decrescente, e agregou 21 interseções ao conjunto de 77 interseções principais, de modo que essas  $21+77 = 98$  interseções deveriam, necessariamente, compor o CTA\FOR.

Além disso, a adoção de outros dois critérios de análise de interseções, a saber :

- i) Embora não atendendo o critério de distanciamento máximo, a interseção em análise forma com outras um corredor importante; e
- ii) A interseção em análise se localiza em extremo de corredor, constituindo ponto natural de ligação em futura expansão do sistema CTA\FOR; levou à sugestão de inclusão de outras 81 interseções na primeira etapa

de implantação do sistema, no caso de haver disponibilidade de recursos.

**Tabela 1**  
Ilustração-do Questionário Utilizado no Experimento Delphi (CTA/FOR).

Avaliação: Távora		Data: 13/04/99			Estatísticas			Pontuação (0 a 10)		Justificativa
ID	Código	Opinião	Médiana	Q25	Q75	Anterior	Atual	(para a pont. atual)		
3	003	LIBERATO BARROSO X FLORIANO PEIXOTO	7,5	6	8	8	8	8		
7	007	DUQUE DE CAXAS X G4 DE M/IO	8,5	8	9	8	8	8		
10	010	ANTÔNIO POMPEU X SOLON RIN-IBEIRO	7,5	7	8,75	7	7	7		
11	011	PEDRO PEREIRA X FLORIANO PEIXOTO	7	6,25	7,75	7	7	7		
12	012	PEDRO PEREIRA X MAJOR FACUNDO	7,5	6,25	8	7	7	7		
13	013	PEDRO PEREIRA X SENA MADUREIRA	7,5	6,25	8,75	7	7	7		
14	014	PEDRO PEREIRA X SENADOR POMPEU	8	6,25	8,75	8	8	8		
15	015	PEDRO PEREIRA X GENERAL SAMPAYO	9	8	10	9	9	9		
16	016	LIBERATO BARROSO X MAJOR FACUNDO	7,5	6,25	8,75	7	7	7		
17	017	BEZERRA DE MENEZES X OLAVO BILAC	8	8	9	8	8	8		
18	018	LIBERATO BARROSO X SENADOR POMPEU	7,5	6	8,75	8	8	8		
19	019	LIBERATO BARROSO X GENERAL SAMPAYO	7,5	6,25	8,75	8	8	8		
20	020	DUQUE DE CAXAS X MAJOR FACUNDO	8,5	8	9,75	8	8	8		
21	021	LIBERATO BARROSO X TRISTAO GONÇALVES	8	7	9	8	8	8		
22	022	LIBERATO BARROSO X IMPERADOR	8	8	9	8	8	8		
23	023	GUILHERME ROCHA X TRISTAO GONÇALVES	8,5	8	9,75	8	8	8		
26	026	RAMUNDO CELA X GIULIEM (SHIDA SLU)	7	6	7	7	7	7		
27	027	PEDRO BORGES X SENA MADUREIRA	7	7	7,75	7	7	7		
30	030	VISCONDE DE SARGIA X SENA MADUREIRA	8	8	9	8	8	8		
31	031	SÃO PAULO X FLORIANO PEIXOTO	8,5	8	9,75	8	8	8		
32	032	SÃO PAULO X MAJOR FACUNDO	8,5	8	9,75	8	8	8		
33	033	SANTOS DUMONT X GORDONEL JUCA	5	5	6	6	6	6		
34	034	SÃO PAULO X SENADOR POMPEU	9	8	10	8	8	8		
37	037	CASTRO E SILVA X BARÃO DO RIO BRANCO	8	8	8,75	8	8	8		
38	038	SENADOR ALBUQUAR X G4 DE M/IO	8	7	9	8	8	8		
40	040	GUILHERME ROCHA X PADRE MORCOSO	7	7	7,75	7	7	7		
41	041	ENS. SANTANA JUNIOR X ALBERTO AS	8	8	8	8	8	8		
42	042	DUQUE DE CAXAS X PADRE IBARNA	9,5	8,25	10	8	9	9	e	
43	043	DOMINGOS QUIMPO X UNIVERSIDADE	9	8,25	10	8	8	8		
45	045	MONSENHOR TABOSA X JOÃO CORDEIRO	7	7	7,75	7	7	7		
46	046	13 DE M/IO X MARECHAL DEODORO	9	9	9	8	8	8		
48	048	13 DE M/IO X LUIZIANO CARNEIRO	9	8	9,75	8	8	8		
51	051	ANTÔNIO SALES X RUI BARBOSA	9,5	8,25	10	8	9	9	abc,e	
59	059	DUQUE DE CAXAS X PADRE MORCOSO	7	6,25	7,75	7	7	7		
61	061	SENADOR POMPEU X GUILHERME ROCHA	7	6	7,75	7	7	7		
62	062	DUQUE DE CAXAS X ASSUNÇÃO	8	7,25	8,75	8	8	8		
63	063	DOMILIJ X OSVALDO CRUZ	7	6,25	7	7	7	7	X	
66	066	PONTES MIBEIRA X CAPITÃO GUSTAVO	7	7	7,75	7	7	7		
70	070	ABOLIÇÃO X SILVA PALLET	7	7	7,75	7	7	7		
73	073	HERACLITO GRACA X RUI BARBOSA	9	8,625	10	8	8	8		
74	074	PINTO MADEIRA X DOMMANUEL	7,5	7	8	7	7	7		
75	075	BARBARA DE ALBUQUAR X DOMMANUEL	8,5	7,25	9	8	8	8		
77	077	DOMINGOS QUIMPO X JAME BENÉVULO	7,75	7	8,75	7	7	7		

Finalmente, o uso da metodologia desenvolvida levou à definição das  $98 + 81 = 179$  interseções que deverão compor efetivamente a primeira etapa do CTA/FOR. Note-se que o processo de definição em pauta pode ser tal que nem todas as interseções escolhidas no experimento Delphi se incluem necessariamente na primeira etapa de implantação do sistema.

## 6. CONCLUSÕES

A implantação de um sistema CTA em uma cidade médio ou grande portes traz grandes benefícios para a gestão do tráfego e auxilia as políticas de uso do solo nas áreas onde é implantado (ver Arruda e Portugal, 1982). No entanto, muitos são os cuidados que devem ser tomados para viabilizar a implantação de um tal sistema.

Este artigo descreveu uma metodologia de baixo custo de definição de cruzamentos a compor um sistema de controle semafórico centralizado. Enfatizou-se que esta metodologia visa reduzir custos com uma abrangente coleta de dados, normalmente envolvida com uma abordagem de avaliação tradicional de tais sistemas, e procura tirar partido da experiência de técnicos com largo trato dos problemas de tráfego da área de estudo.

Como se sabe, a avaliação tradicional de Benefício-Custo exige um certo rigor na especificação do sistema, em termos de *hardware* e *software*, tarefa que demanda tempo e deveria, ela própria, referenciar-se ao conjunto de cruzamentos escolhidos para compor o sistema CTA em projeto.

Ressalta-se a importância de uma reordenação, prévia à aplicação da metodologia, da circulação do tráfego na área de estudo já que alguns cruzamentos podem deixar de existir com essa reordenação. Também, com ela evita-se ao máximo as condições de saturação em alguns trechos da rede viária, as quais tornam inúteis a gerência semafórica naqueles trechos.

A metodologia descrita neste artigo foi aplicada ao caso do CTA de Fortaleza, sugerindo a inclusão de 179 interseções no sistema de controle centralizado em projeto. É interessante observar-se que a metodologia pode ser reaplicada nas fases posteriores de expansão do sistema CTA, sendo importante que haja a preocupação das entidades de gestão urbana em montar um banco de dados a partir de estudos específicos feitos para as outras áreas não incluídas na etapa anterior à expansão do sistema.

Finalmente, deve-se ressaltar que a metodologia empregada incorpora visões múltiplas das estratégias de gerenciamento da circulação do tráfego, contrabalançando possíveis tendenciosidades decorrentes de formação específica e, algumas vezes, não sistêmica do engenheiro de tráfego no trato da problemática do tráfego urbano.

## BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

- Al-Khalili, A.J. *Criteria for Defining Sub-Areas for Use in Computer-Controlled Area Traffic Networks*. Traffic Engineering & Control, June, 1975.
- Arruda, J.B.F. e Portugal, L.S. *O Sistema CTA Como Instrumento de Gerência de Tráfego e Elemento Consolidador das Políticas de Transporte e Uso do Solo: O Caso de Fortaleza*. In: Forum de Debates Adolpho Herbster, 1982. Anais do Seminário "Transporte Urbano : Realidade e Perspectivas em Fortaleza", 1982.
- BHTRANS - Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte. *Controle de Tráfego em Área de Belo Horizonte - CTA \BH: Análise Técnico-Econômica*. Belo Horizonte, 1996.
- Bozola, C.F.; Cardoso, P.T.S.; Seó, C.K. e Fabichak, W. *Controle de Tráfego em Área - Sistema SEMCO*. Companhia de Engenharia de Tráfego . Notas Técnicas nº089 . São Paulo, 1983.
- CET - Companhia de Engenharia de Tráfego. *Planejamento e Projeto de Ampliação do Sistema Semafórico : Metodologia*. São Paulo, 1990.
- Dajani, J.S. e Gilbert, G. *Delphic Prediction and Cross Impact Simulation*. Journal of the Urban Planning and Development Division. May, 1975. p. 49- 59.
- Germani, E. e Szasz, P. *Controle Semafórico Centralizado- SP*. In: I Encontro Técnico entre Países Latino-Americanos sobre Transportes Urbanos, 1986. Anais do I Encontro Técnico entre Países Latino-Americanos sobre Transportes Urbanos, 30/Setembro a 03/Octubre. Brasília, 1986.

- 
- Hounsell, N.B. e Mcdonald, M. *Implementation of Centralized System for the Control of Traffic in Real Time*. PTRC. University of Southhampton, 1990.
- Moreira, M.E.P. ; Pereira, A.L. e Mora-Camino, F. *Análise Estrutural Aplicada à Definição de Sub-Áreas de Tráfego Urbano*. 1988. Artigo não-publicado .
- Ribeiro, P.C.M. *Sistemas de Controle de Tráfego para Cidades de Grande Porte*. In: VII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1993. Anais do VII ANPET . Belo Horizonte. 1993.
- Robertson, D.I. ; Vincent, R.A. e Mitchell, A. I. *User Guide to TRANSYT - Version 8*. Transportation and Road Research Laboratory. LR 888. Crowthorne. England. 1980.
- Silva, A.C.M. *Um Método para o Particionamento de Redes de Semáforos em Sub-Áreas de Controle de Tráfego Utilizando Técnicas de Grafos*. Tese de Mestrado. COPPE\UFRJ. Rio de Janeiro, 1992.
- Warfield, J.N. *Toward Interpretation of Complex Structural Models*. IEEE Transactions in Systems, Management and Cybernetics. Vol. SMC-4, nº 5 . 1974.