

# **ATUALIZAÇÃO DE PLANOS DE TEMPO FIXO COM BASE EM DADOS HISTÓRICOS DE SISTEMAS CENTRALIZADOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO**

**Francisco Moraes de Oliveira Neto**

**Miguel Barbosa Ary**

**Marcus Vinícius Teixeira de Oliveira**

Controle de Tráfego em Área 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**

Em qualquer tipo de controle semafórico existe a necessidade de atualização das programações para melhor atender a demanda atual de tráfego. Os sistemas centralizados de controle de tráfego, em especial, permitem um monitoramento constante do padrão de deslocamento, facilitando a atualização dos tempos semafóricos para atender a variabilidade nos fluxos de tráfego. Devido a estas vantagens, algumas cidades brasileiras, como é o caso de Fortaleza, vêm adotando este tipo de controle nas suas áreas mais adensadas. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo descrever a metodologia de atualização dos planos básicos de tempo fixo adotada pela equipe técnica do CTAFOR (Controle de Tráfego em Área de Fortaleza), além de validar esta metodologia por meio de um estudo de caso, avaliando o desempenho operacional das programações em tempo fixo obtidas.

## **ABSTRACT**

In any kind of traffic signal control strategy there is the need to update the signal plans' parameters to better serve the present traffic demand. The centralized traffic control systems, in special, allow a constant monitoring of travel pattern, making it easier to adjust signal plans to follow traffic flow variability. Due to such advantages, some Brazilian cities, such as Fortaleza, have adopted this signal control strategy in their more dense areas. In this context, this work was focused in the description of a methodology to update fixed-time signal plans developed by CTAFOR (Fortaleza's Urban Traffic Control System) staff, as well as in validating the methodology through a case study, assessing the operational performance of the produced signal plans.

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas grandes cidades brasileiras, assim como ocorre em muitos centros urbanos, o desenvolvimento das atividades e o uso do solo mudam com o passar dos anos, alterando o padrão dos deslocamentos que são realizados diariamente. Estas mudanças normalmente são acompanhadas de um acréscimo nas demandas de tráfego, com a conseqüente implantação de novos semáforos, o que resulta na necessidade de uma atualização periódica das programações dos semáforos existentes, principalmente em redes de semáforos controlados em tempo fixo.

Os métodos normalmente usados na atualização de programações de redes semafóricas em tempo fixo demandam um grande esforço de coleta de dados em campo, envolvendo pesquisas volumétricas e de fluxo de saturação em todos os cruzamentos da rede. Esses dados são usados para alimentar um modelo de tráfego que determina os parâmetros básicos do plano semafórico (proporções de verdes, defasagens e ciclos). No caso de redes com um grande número de semáforos, este processo é trabalhoso e demorado. Este problema pode ser eliminado por meio do monitoramento contínuo da demanda com o uso de detectores, que são dispositivos capazes de estimar o volume veicular que passa em determinada seção de via. Estes detectores, assim como os controladores semafóricos, podem ser interligados a um computador central formando o que é conhecido como controle semafórico centralizado.

Em sistemas centralizados de controle de tráfego, os semáforos podem operar em tempo fixo, por seleção dinâmica ou em tempo real. Em qualquer um destes tipos de operação, há a necessidade de atualização periódica das programações. Na operação em tempo fixo e por seleção dinâmica, que tomam como base planos de tempo fixo previamente calculados, os parâmetros são alterados para atender as condições de variação média do fluxo de tráfego. Já no controle em tempo real, existe a necessidade tanto da calibração do modelo de tráfego usado, como da atualização dos planos básicos de tempo fixo (planos de segurança usados em caso de falha de comunicação com o computador central). Esses planos básicos, no controle em tempo real, também são necessários como *input* inicial para o dimensionamento dos tempos pelo modelo adaptativo do tráfego.

Devido a este monitoramento constante das demandas de tráfego e à facilidade de atualização dos tempos semaforicos para atender às mudanças que ocorrem nos fluxos de tráfego, algumas cidades brasileiras, como é o caso de Fortaleza, vêm adotando há alguns anos o controle semaforico centralizado. Atualmente, na área mais adensada de Fortaleza, cerca de 200 semáforos são controlados a partir de um sistema centralizado, parte integrante do CTAFOR (Controle de Tráfego em Área de Fortaleza) (Loureiro *et al.*, 2002a). Este sistema tem por base o modelo SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimization Technique*), de controle adaptativo em tempo real.

Tendo em vista os problemas de falha de comunicação que ocorrem eventualmente, o que ocasiona desconforto para os usuários do sistema devido à utilização de planos básicos de tempo fixo desatualizados, e dada à facilidade de alteração da programação semaforica diretamente da central de controle, foi realizado um esforço de atualização das programações básicas de tempo fixo nas principais áreas de controle do CTAFOR. Este processo foi realizado inicialmente para os períodos de pico e entre-picos do tráfego. As ações desta intervenção consistiram em usar os dados da operação em tempo real, que são modelados e armazenados pelo SCOOT, para atualizar os planos básicos de tempo fixo centralizados.

Assim, este trabalho teve como objetivo descrever a metodologia de atualização dos planos básicos de tempo fixo adotada pelos técnicos do CTAFOR, além de validar esta metodologia por meio de um estudo de caso, avaliando o desempenho operacional das programações em tempo fixo obtidas. A análise considerou as variáveis relacionadas ao atraso veicular e à saturação dos *links* (aproximações semaforicas) da área selecionada para o estudo de caso.

## **2. CONTROLE SEMAFÓRICO CENTRALIZADO**

O termo Controle de Tráfego por Área (CTA) provém de uma estratégia de controle em que a região a ser controlada é subdividida em regiões (áreas), com suas interseções operadas por controladores em campo que se comunicam com um computador de zona denominado de concentrador, responsável por gerenciar os controladores de uma determinada área. Estes equipamentos, por sua vez, se comunicam com um computador central, o qual realiza o controle e direciona as ações para os controladores locais. A estratégia de controle centralizado dos semáforos pode operar da seguinte forma: tempo fixo (tabela horária), seleção dinâmica ou tempo real adaptativo (Wood, 1993).

Na operação centralizada em tempo fixo, o computador central armazena e implementa os planos semaforicos previamente calculados, com dados que refletem condições médias esperadas do tráfego. Nesta operação, o momento da entrada de cada plano de tráfego,

previamente calculado, ocorre por intermédio de uma tabela horária, ou seja, num dado instante do dia, um determinado plano entra em operação, automaticamente imposto pelo computador central. Já na seleção dinâmica, existe uma série de planos semafóricos armazenados no computador, correspondentes a diversos perfis de fluxos veiculares coletados a partir de detectores veiculares. Ou seja, o computador selecionará, automaticamente, o plano semafórico previamente estabelecido para atender o respectivo volume de uma determinada área ou interseção. Nestas duas estratégias de operação, os planos devem ser calculados antecipadamente por programas específicos de dimensionamento de programação semafórica, como o *software* TRANSYT (*Traffic Network Study Tool*) (Vincent *et al.*, 1980).

Os sistemas semafóricos de controle adaptativo, também conhecidos como sistemas em tempo real, consistem na determinação e implementação, *on-line*, dos melhores parâmetros semafóricos (ciclo, tempos de verde e defasagens), para responder à variação da demanda veicular coletada continuamente por detectores em campo (Conrad *et al.*, 1998). Assim, estes parâmetros são sistematicamente adaptados no controle em tempo real, por freqüentes ajustes automáticos para atender as condições reais do tráfego. O ciclo e as proporções de verde são ajustados para manter um grau de saturação aceitável nas aproximações das interseções, enquanto as defasagens são ajustadas para minimizar os atrasos e/ou paradas dos veículos.

De forma a manter a coordenação ao longo do tempo, grupos de interseções adjacentes são predefinidos em áreas para operar num mesmo ciclo semafórico. As condições do tráfego são continuamente monitoradas com base na detecção veicular e na informação de mudança nos tempos dos semáforos pelos controladores. Normalmente, os modelos de otimização são implementados numa arquitetura de comunicação, na qual a troca de dados é realizada entre equipamentos nas interseções em campo e o computador central, podendo ou não haver intervenção de operadores de tráfego.

No caso do CTAFOR, as estratégias semafóricas podem operar em três níveis de controle: isolado em tempo fixo, centralizado em tempo fixo e centralizado em tempo real. No primeiro, os controladores em campo executam planos semafóricos de tempo fixo previamente estabelecidos. Este tipo de controle é implementado quando há falha de comunicação com a central. No segundo e terceiro níveis, o controle semafórico é feito a partir da central de controle, diferindo apenas na estratégia de controle semafórico adotada (Loureiro *et al.*, 2002a). Em Fortaleza, nos períodos de baixa demanda (período noturno, finais de semana e feriados), a estratégia de operação centralizada em tempo fixo tem sido implementada para promover progressões, por banda de passagem (“onda verde”), nos principais corredores arteriais da cidade (Paiva Neto *et al.*, 2003).

### **3. HISTÓRICO DA OPERAÇÃO EM TEMPO REAL NO CTAFOR**

#### **3.1. Implantação do sistema**

Para dar início à otimização semafórica em tempo real, o sistema SCOOT necessita, em seu banco de dados, de pelo menos um plano de tempo fixo para cada semáforo (plano básico). Com a implantação do Projeto CTAFOR, a partir do ano 2000, decidiu-se calcular novos planos para todos os semáforos que seriam controlados pelo SCOOT, já que a maioria deles operava até então com controladores monoplanos e as programações vigentes já não atendiam satisfatoriamente a demanda veicular. Dessa forma, a partir de dados de volumes veiculares atualizados e fluxos de saturação de cada aproximação, obtidos em pesquisas previamente realizadas, foram geradas programações com oito planos para cada semáforo, utilizando-se o

*software* TRANSYT, sendo cada plano programado especificamente para as condições de trânsito em cada período de um dia típico.

A transição do modo de controle isolado (controladores monoplanos sem comunicação com uma central) para o modo centralizado (controladores multiplanos comunicando-se com a central) foi feita por etapas. Como não se sabia à época a configuração ideal de subáreas, ou seja, quais semáforos deveriam estar coordenados entre si para obter a operação mais eficiente possível, decidiu-se inicialmente dividir a área de abrangência do sistema semafórico centralizado do CTAFOR em pequenos grupos (subáreas do sistema), em geral limitando-se no máximo a seis semáforos por grupo. Assim, os planos dos semáforos de cada subárea foram sendo calculados em rede pelos engenheiros do CTAFOR, seguindo o cronograma de implantação dos novos controladores semafóricos. Após a implementação dos novos planos, foram feitos ajustes finos em campo pela equipe técnica do CTAFOR e, quando possível, com o auxílio das câmeras do Circuito Fechado de TV (CFTV). Nos dias subsequentes ao ajuste dos novos planos de tempo fixo, a empresa contratada realizava a validação preliminar dos parâmetros básicos do SCOOT, a fim de permitir a otimização *on-line* dos tempos semafóricos para os *links* da nova subárea.

Concluído o processo de implantação do controle semafórico centralizado na área do Projeto CTAFOR, todos os semáforos já operavam em tempo real, ainda com a configuração original de subáreas, com planos básicos de tempo fixo bem ajustados em cada pequeno grupo. No entanto, alguns *links* de fronteira entre subáreas ficavam sem sincronismo, tanto no modo de controle em tempo real como em tempo fixo, principalmente nos corredores que possuíam semáforos próximos (distantes até 200 metros entre si), uma vez que na maior parte do dia as áreas adjacentes operavam com ciclos distintos. Embora gerando alguns impactos operacionais negativos, a decisão de dividir inicialmente os semáforos em pequenas subáreas acabou se mostrando benéfica, pois permitiu uma maior flexibilidade de movimento de nós entre as subáreas e um melhor entendimento e gerenciamento do sistema por parte da equipe técnica do CTAFOR.

### **3.2. Ajustes pós-implantação**

Nos primeiros meses de operação do SCOOT, a equipe técnica do CTAFOR acompanhou sistematicamente o comportamento do sistema, identificando as tendências de elevação e queda dos ciclos em cada subárea. Assim, as primeiras decisões de agregação de subáreas foram baseadas na homogeneidade dos perfis cíclicos de fluxo observados.

Na seqüência, a fim de avaliar a eficácia do sistema SCOOT, foram realizadas diversas pesquisas de rotas, com veículos de teste, para mensurar os possíveis ganhos de velocidade, redução de atrasos e do número de paradas de veículos proporcionados pela nova operação semafórica. A partir da análise dos dados coletados, foram identificados ganhos significativos (Pereira Neto *et al.*, 2003); no entanto, constatou-se que nos principais corredores mais subáreas deveriam ser agregadas para evitar a falta de coordenação entre *links* de fronteira, permitindo assim uma melhor progressão do tráfego nesses trechos. Após as junções realizadas, alguns corredores que tiveram o controle centralizado implantado inicialmente em até cinco grupos, passaram a operar em uma única subárea em horários de pico. Entretanto, com base nas variações observadas no sistema, com o passar do tempo identificou-se que algumas agregações e desagregações de subáreas se faziam necessárias somente em determinados períodos. Para permitir essa movimentação de nós entre subáreas em horários

específicos, os comandos foram sendo inseridos na tabela horária do sistema, conforme a necessidade.

Por conseguinte, com base na análise dos dados de campo, aliado ao acúmulo de conhecimento e experiência prática da equipe técnica do CTAFOR na operação do sistema SCOOT, foram sendo calibrados os parâmetros relativos aos ciclos mínimos e máximos de cada subárea, além de ajustes de defasagens e aumento de saturação em vias secundárias para proporcionar maiores comprimentos de bandas de passagem na progressão dos corredores viários. Foi também realizada uma revalidação mais criteriosa dos parâmetros básicos do SCOOT em todos os *links* da área de abrangência do sistema. Dessa forma, estas ações foram promovendo uma melhoria contínua na qualidade de operação do sistema.

### **3.3. Necessidade de atualização dos tempos fixos**

Após todos estes esforços de calibração do sistema, a equipe técnica do CTAFOR considera que foi praticamente atingido o estágio ótimo de operação em tempo real do sistema SCOOT para as condições de trânsito de Fortaleza. Ainda assim, eventuais ajustes finos de parâmetros são continuamente realizados e novos recursos são testados, sempre visando a aprimorar o funcionamento do sistema.

A operação em tempo real, no entanto, contrasta com a de tempo fixo, pois, em muitas subáreas, os planos existentes já se encontram bastante desatualizados para a realidade presente do trânsito, visto que foram implementados há cerca de quatro anos. Além de não mais atenderem satisfatoriamente a demanda atual, uma vez que os planos de tempo fixo vigentes foram calculados em pequenas subáreas, alguns corredores ficam descoordenados em determinados trechos nas ocasiões em que os controladores perdem, eventualmente, a comunicação com a central. Nestas situações há uma queda significativa de qualidade da fluidez do tráfego e, conseqüentemente, transtorno aos usuários do trânsito.

Assim, para tornar a eficiência da programação de tempo fixo compatível com a atingida na operação em tempo real, o CTAFOR decidiu atualizar os planos de tempo fixo de todas as subáreas. Contudo, a geração dos novos planos não segue o método convencional, com a realização de pesquisas e utilização do TRANSYT, mas sim buscando replicar os tempos médios de ciclo, partições e defasagem modelados pelo SCOOT, considerando a configuração atual de subáreas, as alterações realizadas por tabela horária, bem como a experiência acumulada na operação do sistema.

Além de garantir uma operação semafórica de boa qualidade quando os controladores perdem a comunicação com a central, uma programação de tempo fixo atualizada e bem ajustada proporciona maior confiabilidade à operação em tempo real, já que o sistema SCOOT utiliza informações dos tempos fixos nas mudanças de planos programadas por tabela horária ou quando os laços detectores entram em falha. O forçamento de planos atualizados de tempo fixo se constitui ainda numa alternativa satisfatória de operação quando o servidor apresenta problemas de modelagem ou quando é necessário manter toda a área sem comunicação com a central, como em manutenções e atualizações do banco de dados do SCOOT.

## **4. METODOLOGIA PROPOSTA**

No sistema SCOOT, os parâmetros básicos que devem ser calibrados e usados pelo modelo de tráfego são inseridos numa plataforma denominada TMS (*Traffic Management System*), num

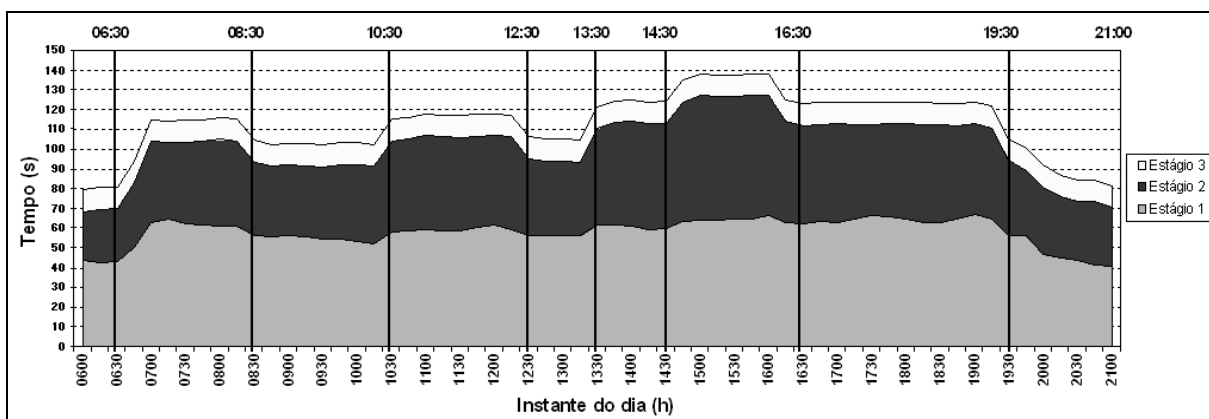
computador central. O *software* de otimização SCOOT usa estes parâmetros e a demanda de tráfego, coletada em tempo real pelos laços detectores, para dimensionar as repartições de verde, defasagens e ciclos de cada semáforo controlado. Após o processo de otimização semafórica, os dados modelados pelo SCOOT são armazenados pelo *software* ASTRID (*Automatic SCOOT Traffic Information Database*), que gerencia uma base de dados dinâmica com renovação contínua a cada 15 minutos, capaz de armazenar dados por um período de até dois anos (TRL, 2000a).

Os valores de defasagem e os dados históricos modelados pelo SCOOT podem ser usados para atualização dos planos básicos de tempo fixo, substituindo o processo de dimensionamento dos planos a partir de coletas em campo e posterior uso do TRANSYT. O método adotado pelos engenheiros do CTAFOR consiste na realização de quatro etapas: definição da rede semafórica e dos horários de entrada de planos; coleta e tratamento dos parâmetros básicos modelados pelo sistema SCOOT; geração e implementação dos novos planos no sistema; e teste das programações em campo.

#### 4.1. Definição da rede semafórica e dos horários de entrada de planos

A definição da área de controle é feita com base na operação atual do sistema. Como as subáreas de controle, na área controlada pelo CTAFOR, podem variar de tamanho ao longo do dia, deve-se consultar a tabela horária do sistema SCOOT para verificar as mudanças de subáreas que ocorrem ao longo do dia, definindo uma rede de semáforos que opere coordenada em quase todos os períodos do dia.

No CTAFOR, durante os dias úteis da semana, adotam-se oito planos básicos de programação de tempo fixo, cujos horários de entrada, geralmente correspondendo aos momentos de mudança de subárea, são definidos com base nos perfis de variação dos ciclos semafóricos da operação em tempo real. Tais perfis podem ser obtidos do banco de dados do sistema pelo *software* ASTRID. A Figura 1 mostra um exemplo de um perfil de variação do ciclo de um semáforo controlado pelo sistema SCOOT do CTAFOR, destacando na linha horizontal superior os horários de entrada dos planos de tempo fixo definidos a partir do gráfico.



**Figura 1:** Exemplo de perfil de variação das repartições de ciclo da operação em tempo real.

#### 4.2. Coleta e tratamento dos parâmetros básicos modelados pelo SCOOT

Os parâmetros básicos devem ser coletados diretamente no banco de dados do sistema SCOOT, via comandos da plataforma TMS. Estes parâmetros correspondem aos valores de defasagem, calibrados em campo para os *links* da rede, e aos valores de entreverdes (tempos

de amarelo mais vermelho geral) definidos para cada nó da rede. Estes dados não necessitam de tratamento para verificação de erros, tendo em vista que as defasagens correspondem a valores médios obtidos de coletas em campo, com os entreverdes correspondendo a intervalos de segurança definidos pelos engenheiros de tráfego do CTAFOR.

As partições de estágios, modeladas na operação semafórica em tempo real, são extraídas com auxílio da interface TRANSCOOT (Meneses, 2003), sendo armazenadas em arquivos do tipo DBF. Estes dados correspondem aos períodos de tempo de verde mais entreverdes, de cada aproximação semafórica da rede, obtidos de uma amostra da operação mais recente do tempo real. Os valores são obtidos, originalmente, de forma desagregada (uma observação por *link* da rede, para cada intervalo de 15 min). Após a extração dos dados, é verificada a ocorrência de falhas na amostra, pois durante o processo os dados coletados podem apresentar inconsistências que devem ser filtradas e eliminadas para o aumento da sua confiabilidade. Estas falhas podem ser caracterizadas por ausência de dados, dados nulos ou por valores máximos e mínimos extremos, bem distantes da tendência central. Normalmente, a inconsistência de dados coletados por sistemas CTA está associada a imperfeições dos equipamentos de mensuração, tanto na instalação como na coleta e transcrição dos dados.

A amostra de dados deve ser classificada conforme o período do dia de atuação de cada plano. Assim, para cada semáforo da rede são obtidas oito amostras de valores de repartições de estágios por ciclo, uma para cada plano de programação. Faz-se então a média dos tempos de estágio de cada amostra. Em seguida, para cada semáforo da rede, são somados os valores médios dos estágios correspondentes para obtenção dos ciclos semafóricos. O ciclo semafórico de cada subárea de controle, em cada plano, será o maior valor de ciclo obtido entre os respectivos semáforos controlados. O ciclo final a ser usado para cada subárea deve ser então aproximado para um valor padrão de ciclo do sistema SCOOT (TRL, 2000b), variando de 32 a 128 segundos, em passos de 8 segundos, e de 128 a 240 segundos, em passos de 16 segundos.

Na seqüência, após a coleta de todas as informações necessárias para elaboração dos planos básicos de tempo fixo, deve-se, para cada plano de controle, calcular os instantes de entrada dos estágios em cada semáforo da rede. O instante de entrada de estágio é definido como o momento, dentro do ciclo semafórico, em que se inicia um determinado estágio de um dado semáforo. O cálculo dos instantes é feito por meio de um processo gráfico. Com os dados de defasagem e tempos dos estágios, para cada plano, são desenhados *diagramas de tempo versus distância* dos semáforos pertencentes aos corredores arteriais da área de controle.

Para montar os diagramas, o engenheiro de tráfego seleciona um determinado corredor e inicia de um nó cujo instante de entrada do estágio 1 será o instante zero de referência da rede, e a partir daí aplica os valores de defasagem de cada *link* do corredor, obtendo-se os instantes de entrada de estágios dos semáforos subsequentes. O corredor seguinte deve conter um nó em comum com o primeiro corredor. Isto permite que o instante de entrada do estágio 1 deste nó, comum aos dois corredores, seja usado como referência para montagem do diagrama seguinte e obtenção dos respectivos instantes de entrada dos semáforos do segundo corredor. O mesmo processo deve ser então replicado para todos os semáforos da rede. Após todas estas etapas, os novos instantes de entrada de estágio dos semáforos em cada plano semafórico são armazenados no banco de dados do sistema SCOOT.

### **4.3. Teste dos planos básicos de tempo fixo em campo**

O sistema SCOOT do CTAFOR permite que os planos básicos sejam forçados nos controladores em campo no modo centralizado em tempo fixo. Este tipo de operação possibilita o monitoramento dos planos em campo e também da central de controle do CTAFOR, principalmente com o uso das câmeras do subsistema CFTV (Circuito Fechado de TV) (Loureiro *et al.* 2002). Além disso, permite que o modelo de tráfego do sistema SCOOT gere indicadores de desempenho (atraso veicular, saturação, relação volume/capacidade dos *links* da rede, e outros) que podem ser usados para avaliar o desempenho dos planos básicos de tempo fixo (Meneses *et al.* 2003). Dessa forma, é possível um ajuste fino nestes planos por meio de observações do comportamento do tráfego em campo. Assim, pequenos ajustes de tempos de verde e de defasagens devem ser realizados a partir de observações pontuais em campo e por meio da realização de rotas, com veículos teste, nos corredores arteriais da rede.

## **5. VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA**

A metodologia de atualização dos planos básicos de tempo fixo foi aplicada numa rede de semáforos centralizados do CTAFOR, contendo 50 semáforos e 138 *links* de controle. A rede é formada por seis trechos arteriais, sendo quatro de sentido duplo, separados por canteiro central, e dois com sentido único de circulação. Os demais trechos são vias coletoras de sentido único de circulação. Os semáforos da rede operam atualmente em tempo real, numa única área de coordenação nos horários de pico, e separados por subáreas nos horários de entropicos. No período de entropicos da manhã (08:30 às 10:30h) a rede é dividida em duas subáreas. Já nos períodos de entropicos da tarde (12:30 às 16:30h) e da noite (19:30 às 21:00h), assim como no fora pico (21:00 às 24:00h), a rede é separada em três subáreas.

A opção de separar em subáreas nos horários de entropicos e no período de fora pico deve-se às diferenças nos valores dos ciclos estimados pelo sistema SCOOT para grupos de semáforos pertencentes a corredores com características de comportamento do tráfego distintas. Neste caso, oito semáforos da rede operam com três estágios de movimento, sendo que em cinco destes, o terceiro estágio é exclusivo para travessia de pedestres. Os demais (42 semáforos) operam com dois estágios de movimento.

Conforme a metodologia proposta para atualização dos planos básicos de tempo fixo, foram coletados dados históricos de repartições de ciclos dos semáforos da rede modelados pelo sistema SCOOT, referentes a dias úteis de dois meses típicos (abril e maio de 2005). Após o tratamento dos dados, obtiveram-se para cada semáforo, sete planos semafóricos para teste nos horários de alta demanda do tráfego e de média demanda (entropicos e fora pico). Os horários de entrada dos planos e os ciclos semafóricos de cada subárea de controle estão apresentados na Tabela 1. Nos horários de baixa demanda (madrugada), conforme descrito por Paiva Neto *et al.* (2003), já vêm sendo usados planos de tempo fixo para promover progressões por banda de passagem (“onda verde”) nos principais corredores arteriais.

Os sete planos básicos obtidos foram então testados nos controladores semafóricos em campo. Para tanto, os planos foram forçados nos controladores, via comandos TMS, durante três dias úteis. A rede foi separada em três grupos de semáforos, com a operação semafórica de cada plano, em cada grupo, sendo monitorada pelos engenheiros de tráfego em campo e da central de controle do CTAFOR. Após todos os ajustes finos necessários, o desempenho da operação semafórica dos planos básicos de tempo fixo foi avaliado, comparando-o ao desempenho da operação em tempo real.



**Tabela 1:** Horários de entrada de planos da rede.

Plano	Tipo de Período	Hora	Ciclos
1	Pico da Manhã	06:30 – 08:30	120s
2	Entrepico da Manhã	08:30 – 10:30	120s, 104s
3	Pico do Meio Dia	10:30 – 12:30	120s
4	Entrepico da Tarde	12:30 – 16:30	104s , 120s, 144s
5	Pico da Tarde	16:30 – 19:30	128s
6	Entrepico da Noite	19:30 – 21:00	64s, 72s, 96s
7	Fora Pico	21:00 – 24:00	64s, 72s, 80s

### 5.1. Medidas de desempenho e coleta de dados

Para o estudo de validação, os planos básicos ajustados foram novamente forçados nos controladores em campo durante cinco dias úteis do mês de maio de 2006. Como medida de desempenho para avaliar a operação dos planos atualizados, a variável usada foi o atraso veicular (segundos/veículo) por *link* da rede. Esta medida foi modelada pelo sistema SCOOT durante a operação dos planos básicos de tempo fixo. Em seguida, os dados foram comparados aos valores de atraso veicular, obtidos da operação em tempo real, referente aos meses de abril e maio de 2005.

Neste estudo, foram avaliados os planos 1 ao 5, dimensionados para os horários de maior demanda do tráfego. Assim, foram definidos cinco períodos horários de análise: Pico da Manhã (PM) – 07:15 às 08:15h; Entrepico da Manhã (EM) – 09:00 às 10:00h; Pico do Meio Dia (MD) – 11:15 às 12:15h; Entrepico da Tarde (ET) – 15:00 às 16:00h; e Pico da Tarde (PT) – 17:30 às 18:30h. Para cada período, os dados necessários foram extraídos do banco de dados do SCOOT com auxílio da interface TRANSCOOT. Devido à rede ser constituída de 138 *links*, foram obtidas então 138 amostras de valores de atraso veicular para cada tipo de operação (tempo real e tempo fixo). Dessa forma, cada amostra obtida para o tempo real contém 100 observações de 15 minutos e para o tempo fixo 20 observações de igual duração.

### 5.2. Metodologia de Análise

Com base em estudos anteriores realizados pelo CTAFOR, comparando o controle em tempo real do SCOOT ao controle de tempo fixo, foram assumidas as seguintes premissas para esta validação: *a) em corredores arteriais, em períodos de média e alta demanda do tráfego, o controle em tempo real do sistema SCOOT é superior ao controle de tempo fixo* (Oliveira Neto e Loureiro, 2004); *b) a superioridade do controle em tempo real sobre planos fixos cresce à medida que as demandas de pico atingem o seu ápice* (Loureiro et al., 2002b).

Nesse sentido, a análise de desempenho dos planos de tempo fixo baseou-se na hipótese de que o desempenho da operação dos planos básicos de tempo fixo, em relação à variável atraso veicular, é inferior à operação em tempo real, principalmente em *links* coordenados e com alto grau de saturação (relação volume por capacidade). Assim, espera-se que uma parcela considerável de *links* da rede de estudo, operando em tempo fixo atualizado, apresente valores médios de atraso veicular superiores àqueles obtidos na operação em tempo real. Contudo, espera-se também uma proporção razoável de *links* operando em tempo fixo atualizado com valores médios de atraso não significativamente diferentes dos obtidos na operação em tempo real, se os planos de tempo fixo estiverem bem ajustados.

Considerando as hipóteses acima, foram realizados testes de médias unilaterais para cada *link* da rede com a seguinte hipótese nula:  $H_0: \mu_{AT\_Tempo\ Real} \geq \mu_{AT\_Tempo\ fixo}$ . Ou seja, não se pode

afirmar que os valores médios de atraso veicular na operação em tempo real ( $\mu_{AT\_Tempo\ Real}$ ) são inferiores aos valores médios de atraso veicular na operação em tempo fixo ( $\mu_{AT\_Tempo\ fixo}$ ). Estas diferenças de atraso veicular médio entre os dois tipos de operação foram consideradas significativas para níveis de significância de 1%. Logo, o teste para cada *link* foi realizado estimando-se os intervalos unilaterais de 99% de confiança dos atrasos médios para cada tipo de operação. Os intervalos obtidos em cada tipo de operação foram então confrontados e, para os casos nos quais o limite superior do intervalo de atraso médio veicular do tempo real fosse maior que o limite inferior do atraso veicular do tempo fixo, a hipótese nula não poderia ser rejeitada.

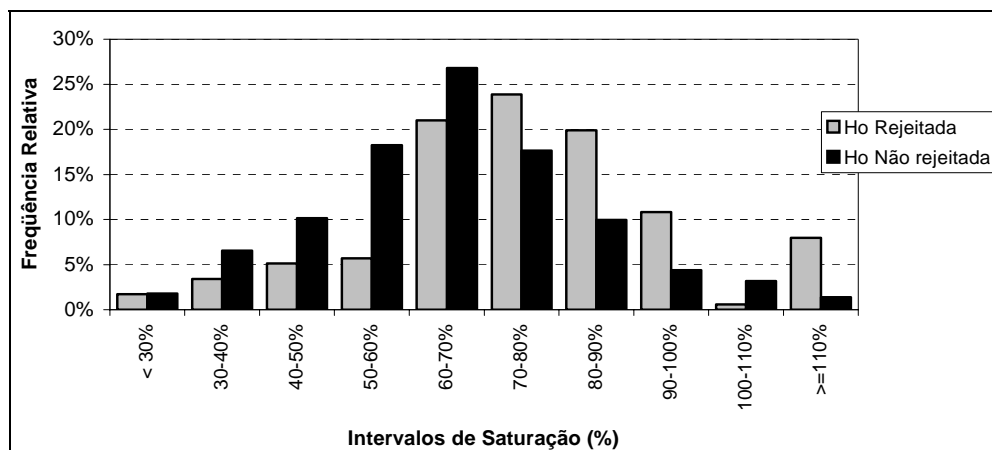
### 5.3. Discussão dos Resultados

Os resultados dos testes de hipótese realizados para cada *link*, em cada período, estão resumidos na Tabela 2, na qual são apresentados os percentuais observados de rejeição e não rejeição da hipótese nula, em cada período de validação dos planos de tempo fixo. A análise dos testes mostrou que, em todos os períodos do dia analisados, a proporção de *links* em que não se pôde rejeitar a hipótese nula foi sempre superior, evidenciando, portanto, que os planos de tempo fixo atualizados geram atrasos similares ao controle em tempo real na maioria dos *links* da rede.

**Tabela 2:** Proporção de *links* em que ocorreu rejeição e não rejeição da hipótese nula.

Período	H <sub>0</sub> Rejeitada	H <sub>0</sub> Não rejeitada
PM	23%	77%
EM	21%	79%
MD	27%	73%
ET	25%	75%
PT	34%	66%

Nos casos de rejeição da hipótese nula – atraso médio na operação em tempo real menor do que na operação em tempo fixo – pôde-se notar uma tendência de rejeição em *links* ou períodos do dia com maior nível de saturação. A Figura 2 mostra a distribuição relativa das saturações médias nos *links*, em todos os períodos, observadas na operação em tempo fixo, para o caso de rejeição e não rejeição de H<sub>0</sub>. Nesse sentido, o gráfico da Figura 2 revela, portanto, existir indícios de que o atraso médio no controle em tempo real é menor que o atraso médio no controle em tempo fixo bem ajustado, quanto maior for o nível de saturação dos *links*. Além disso, nos períodos de pico do tráfego (com exceção do PM) foram observados índices de rejeição de H<sub>0</sub> mais altos que os períodos de entrecpicos. Estes fatos confirmam a premissa de que o controle em tempo real é superior ao controle em tempo fixo bem ajustado quanto maior for o nível de saturação da rede, conforme observado por Loureiro *et al.* (2002b).



**Figura 2:** Distribuição dos resultados dos testes de hipótese por nível de saturação dos *links*.

O resultado para o pico da manhã (PM) pode ser explicado pelas características das viagens neste período. Ou seja, o pico da manhã é um período que se caracteriza por apresentar um maior número de viagens pendulares (casa-trabalho e casa-escola), não acarretando em variação nas demandas devido à ocorrência de outros tipos de viagens, como motivo saúde ou lazer. Além disso, este pico apresenta um menor período de duração, comparativamente aos outros picos do dia (MD e PT). Estas características tornam o pico da manhã mais previsível, apresentando o comportamento similar em todos os dias da semana e não afetando a operação em tempo fixo. Nos demais períodos do dia, ocorrem variações nos fluxos de tráfego devido à geração de outros tipos de viagens, resultando em saturações mais voláteis das vias. Ademais, em períodos de média demanda (EM e ET), a operação semafórica de tempo fixo é menos sensível a estas variações, enquanto que nos períodos de alta demanda (MD e PT), as variações elevam o nível de saturação de alguns *links* da rede, acarretando em um baixo desempenho do controle em tempo fixo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de metodologia de atualização dos planos básicos de tempo fixo desenvolvida e implementada no CTAFOR. O método utilizado teve como base o uso de dados históricos, referentes aos tempos de ciclos, estágios e defasagens modelados pelo sistema SCOOT, para dimensionar as programações de tempo fixo. Isto se configura como uma das vantagens do controle centralizado, qual seja, o uso de dados modelados para avaliar intervenções nas programações semafóricas. Considerando os bons resultados do estudo de validação, o novo método de atualização dos planos básicos de tempo fixo dos semáforos centralizados pelo CTAFOR substitui, assim, o método convencional anteriormente utilizado, que consistia na coleta de dados em campo e uso do TRANSYT para dimensionar os planos, reduzindo consideravelmente o esforço empregado para atualizar as programações de tempo fixo.

Adicionalmente, a validação da metodologia revelou que os planos de tempo fixo, obtidos para a rede de semáforos usada como estudo de caso, apresentaram um desempenho muito bom quando comparados com a operação em tempo real (considerada como operação ótima). O estudo de validação também confirmou alguns resultados já obtidos em estudos anteriores (Loureiro *et al.*, 2002b; Oliveira Neto e Loureiro, 2004). Ou seja, embora o foco deste trabalho não tenha sido comparar tipos de operações semafóricas, os resultados dos testes estatísticos usados para validar os planos de tempo fixo, obtidos para a rede do estudo de

caso, demonstraram a superioridade do tempo real em relação ao tempo fixo bem ajustado em condições mais saturadas.

Por fim, os testes também evidenciaram, como esperado, que as variações do tráfego que ocorrem ao longo do dia afetam o desempenho dos planos de tempo fixo. Ou seja, as eventuais variações de tráfego devido à própria aleatoriedade do tráfego e à geração de outros tipos de viagens, que podem ocorrer na rede, são absorvidas somente pela operação semafórica em tempo real. Contudo, devido à alta proporção de *links* da rede do estudo de caso, em todos os períodos do dia, operando com desempenho similar à operação em tempo real, assumiu-se que os planos de tempo fixo, quando muito bem ajustados (atualização constante), apresentam desempenho bastante satisfatório.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) pela cessão dos dados e cooperação em todas as etapas do estudo.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Corand, M.; F. Dion e S. Yagar (1998) Real-Time Traffic Signal Optimization with Transit Priority: Recent Advances in the SPPORT Model. *Transportation Research Board, 78th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.
- Loureiro, C.F.G.; C.H.P. Leandro e M.V.T. Oliveira (2002a) 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, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- Loureiro, C.F.G.; M.J.T.L. Gomes; C.H.P. Leandro (2002b) Avaliação do desempenho nos períodos de pico do tráfego de interseções semaforizadas com controle centralizado em tempo fixo e real. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Artigo Científico, p. 365-376.
- 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, Fortaleza, CE.
- Meneses, H.B.; C.H.P. Leandro; C.F.G. Loureiro (2003) Indicadores de Desempenho para Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, Comunicações Técnicas, CD-Rom.
- Oliveira Neto, F.M. e C.F.G. Loureiro (2004) Priorização Passiva do Transporte Coletivo por Ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Florianópolis, SC, v. 1, p. 537-548.
- Paiva Neto, P.M.; M.M. Castro Neto e C.F.G. Loureiro (2003) Progressão em Tempo Real versus Tempo Fixo por Banda de Passagem em Períodos de Baixa Demanda – Estudo de Caso. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, Comunicações Técnicas, CD-Rom.
- Pereira Neto, W.A.; F.M. Oliveira Neto e C.F.G. Loureiro (2003) Avaliação do Desempenho Operacional em Períodos de Pico do Controle Semafórico em Tempo Real nos Corredores Arteriais de Fortaleza. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, Comunicações Técnicas, CD-Rom.
- TRL (2000a) *ASTRID Operator Manual*. SCOOT Traffic Handbook, SCOOT 7730. Transportation Research Laboratory, Crowthorne, England.
- TRL (2000b) *Operational Guide – Customising*. SCOOT Traffic Handbook, SCOOT 0474. Transportation Research Laboratory, Crowthorne, England.
- Vincent, R.A., A.I. Mitchell e D.I. Robertson (1980) *User guide of TRANSYT version 8 - TRRL Report LR888*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England.
- Wood, K. (1993) *Urban traffic control, systems review*. Project Report 41. Transportation Research Laboratory, Crowthorne, England.