

TECNOLOGIA DE TRANSPORTE E TRÂNSITO

## Automação de semáforos para uma melhor dinâmica urbana

### Lucas Devides Moreno

Engenheiro civil e mestrando em Engenharia Urbana na Escola Politécnica da UFRJ.

E-mail: [lucas.moreno@poli.ufrj.br](mailto:lucas.moreno@poli.ufrj.br)

### Bruno Borges Mamede

Geógrafo e mestrando em Engenharia Urbana na Escola Politécnica da UFRJ.

E-mail: [bruno.mamede@poli.ufrj.br](mailto:bruno.mamede@poli.ufrj.br)

### Armando Carlos de Pina Filho

D.Sc. em Engenharia Mecânica (Coppe/UFRJ) e professor do Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da UFRJ.

E-mail: [armando@poli.ufrj.br](mailto:armando@poli.ufrj.br)

Boa parte do tempo em que os veículos ficam parados no trânsito deve-se a semáforos mal regulados, uma vez que a dinâmica das cidades está em modificação e isto obriga o motorista a aguardar a abertura do sinal enquanto a via transversal apresenta pouco ou nenhum fluxo de veículos.

Hoje, no Brasil, a operação de semáforos em tempos fixos é predominante. Planos específicos são pré-calculados para as várias situações do dia e em seguida são implementados automaticamente, obedecendo a uma tabela horária. Para que este modelo tenha resultados satisfatórios, esta operação semafórica depende de uma grande quantidade de dados de demanda (fluxo - F) e oferta (fluxo de saturação - FS).

Em meio a uma dinâmica urbana caótica, fica muito difícil embutir, em uma programação através de uma tabela horária com valores médios de fluxo em uma via, tempos de folgas para compensar aleatoriedades, causadas pelas constantes alterações urbanas ao longo dos dias. Tendo em vista que esta aleatoriedade não é constante e os tempos de folgas na programação semafórica o são, há uma perda significativa do tempo semafórico, ocasionando congestionamentos e, conseqüentemente, maior emissão de poluentes, maior risco de assaltos, perda na qualidade de vida da população etc.

A solução proposta, para melhorar este cenário urbano está em disseminar a implantação de semáforos automatizados ou semáforos inteligentes. Segundo Pereira e Ribeiro (2007), esses tipos de semáforos objetivam:

- gerenciamento de tráfego mais eficiente;
- melhoria das condições de segurança;



[www.antp.org.br](http://www.antp.org.br)

- otimização da manutenção dos semáforos;
- melhoria das condições ambientais;
- redução do consumo de energia.

Para a concretização de semáforos inteligentes, foi estudada a implantação de semáforos operados em tempo real através de um sistema chamado *scoot*. Segundo Ming (1997), sua sigla significa *split cycle offset optimization technique*, onde *split* significa porcentagem ou fração de verde (note que não é a duração de tempo de verde em segundos), *cycle* é o tempo do ciclo semafórico, e *offset* significa defasagem. Assim, uma tradução literal seria técnica de otimização da porcentagem de verde, ciclo e defasagem.

Qualquer medida a ser implantada deve se preocupar não somente com o problema específico. Logo, o presente trabalho tem abordagem sistêmica, pois quando se pensa em uma cidade há diversos agentes envolvidos. Segundo Loureiro et al. (2005), os sistemas mais antigos, classificados em tempo fixo, necessitam de planos pré-programados com base em dados históricos médios para determinados períodos do dia e dias da semana. Já os sistemas adaptativos, denominados também de controle em tempo real, ajustam os parâmetros da programação semafórica em função de dados de volume ou ocupação nas aproximações dos cruzamentos que compõem a subárea, coletados continuamente por detectores veiculares. Entre estes dois tipos de controle semafórico centralizado, situam-se os sistemas classificados como de seleção dinâmica, que selecionam, dentre um conjunto de planos pré-definidos, aquele que melhor se ajusta às condições detectadas em períodos de observação de 15 ou 20 minutos, anteriores ao acionamento escolhido.

A metodologia utilizada neste artigo baseia-se numa revisão bibliográfica, a fim de mostrar a contribuição que os semáforos operados em tempo real apresentam na busca de melhores resultados de escoamento do tráfego, em uma cidade onde se acredita que tais sistemas sejam capazes de reduzir atrasos e número de paradas em cruzamentos semaforizados, gerenciando de forma mais otimizada a infraestrutura de malhas viárias urbanas próximas da saturação. Porém, para baixas demandas de tráfego, estudos comprovam que o sistema em tempo fixo reduz atrasos e o número de paradas nos corredores, beneficiando também as vias transversais e justificando a importância da visão sistêmica do problema, a fim de ter uma tratativa mais eficiente da questão aqui estudada.

Além das referências citadas ao longo do artigo, recomenda-se também a leitura de interessantes trabalhos sobre o assunto aqui tratado, incluindo: Ming (2001), Vilanova e Neto (2006), Pietrantonio e Bonetti (2007), Yuki (2008) e Ming (2010).

## PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

Toda vez que, num semáforo, ocorre o movimento de perda do direito de passagem para dar a vez a um movimento conflitante, ocorre uma situação transitória: alguns veículos do movimento que se encerra chegam a passar mesmo após fim do seu verde, enquanto os veículos do movimento seguinte ainda demoram alguns segundos para se colocar em marcha.

Para entender o funcionamento semafórico, devem-se estudar os seguintes parâmetros: entreverdes, tempo de amarelo ( $T_a$ ), tempo de vermelho de segurança ( $T_{vs}$ ), tempo perdido ( $T_p$ ), fluxo ( $F$ ), fluxo de saturação ( $FS$ ), e taxa de ocupação ( $Y$ ).

### Entreverdes ( $T_a + T_{vs} = T_p$ )

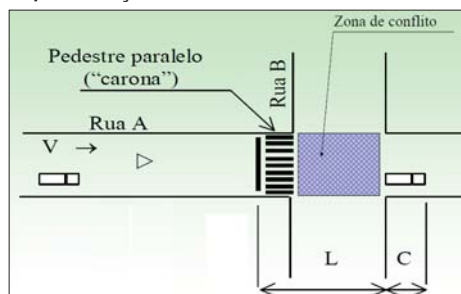
Tempo de amarelo ( $T_a$ ) é uma parcela do conjunto semafórico, de valor em segundos e acionado em função da velocidade regulamentada para a via pela sinalização vertical (tabela 1).

Tabela 1  
Tempo de amarelo ( $T_a$ )

Velocidade máxima regulamentada (km/h)	Tempo de amarelo calculado (s)	Tempo de amarelo arredondado (s)
$\leq 40$	2,98	3
50	3,48	4
60	3,98	4
70	4,47	5
80	4,97	5

Tempo de vermelho de segurança ( $T_{vs}$ ) é o tempo necessário para o veículo que cruzou a linha de retenção sair da zona de conflito (figura 1), tendo iniciado a travessia do cruzamento no final do amarelo.

Figura 1  
Representação de um cruzamento com a zona de conflito entre as transversais



Fonte: Neto, 2010.

O cálculo do tempo de vermelho de segurança é dado, basicamente, em função do comprimento do cruzamento (zona de conflito), do tempo de partida do veículo (estima-se um valor de 1,2 segundo) e da velocidade do veículo. Considerando uma velocidade média de 60 km/h e o comprimento do veículo de seis metros, tem-se os tempos de vermelho de segurança (tabela 2).

Tabela 2  
Tempo de vermelho de segurança ( $T_{vs}$ )

Largura do cruzamento (zona de conflito)	Tempo de vermelho de segurança	
	Calculado (s)	Utilizado (s)
10 metros	0	0
30 metros	0,97	1
50 metros	2,17	3

A somatória destes dois elementos (tempo de amarelo + tempo de vermelho de segurança) é igual ao tempo perdido ( $T_p$ ) de um semáforo, que deverá ser considerado no ato da programação semafórica. Porém, o mesmo não contribui para o escoamento de veículos. Neste tempo não é recomendada passagem de veículos por ambos os lados do cruzamento, pois quanto maior for o tempo perdido, menor é a eficiência do conjunto semafórico.

### Fluxo ( $F$ ), fluxo de saturação ( $FS$ ) e taxa de ocupação ( $Y$ )

Fluxo ( $F$ ) é uma parcela de veículos que deseja passar em uma determinada via.

Fluxo de saturação ( $FS$ ) é o máximo fluxo que um grupo semafórico pode apresentar. Ou seja, é a grandeza que representa a máxima capacidade da via em escoar o fluxo de veículos que deseja passar (está diretamente relacionada à velocidade regulamentada pela via, larguras das faixas e número de faixas).

Uma seção de via de aproximação semafórica tem entre suas características: o fluxo ( $F$ ) que deseja passar (demanda) e o máximo fluxo que pode passar, representado pelo fluxo de saturação ( $FS$ ) (oferta). Isto é, o fluxo que deseja passar em uma via é uma parcela do fluxo de saturação. A essa parcela dá-se o nome de taxa de ocupação ( $Y$ ):

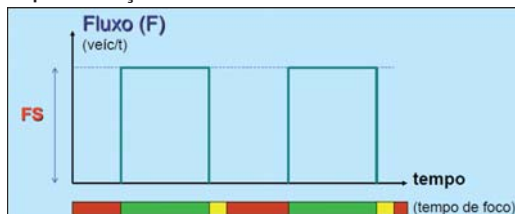
$$Y = F / FS \quad (1)$$



### Comportamento dos veículos em um semáforo

Na figura 2, observa-se uma situação ideal de funcionamento de um semáforo, em que não há perda de tempo na saída e nenhum veículo passa no amarelo. O verde é integralmente usado, sem perda nenhuma por reação do motorista, aceleração do veículo etc.

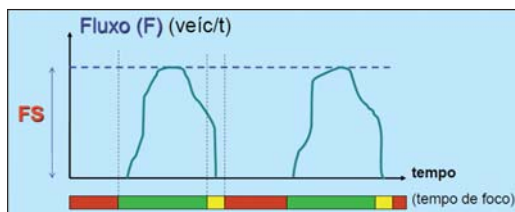
Figura 2  
Representação do funcionamento de um semáforo em situação ideal



Fonte: Neto, 2010.

Porém esta situação não se verifica na prática, o que pode ser visto na figura 3, que apresenta um diagrama de operação real em regime não saturado.

Figura 3  
Representação do funcionamento de um semáforo em situação real



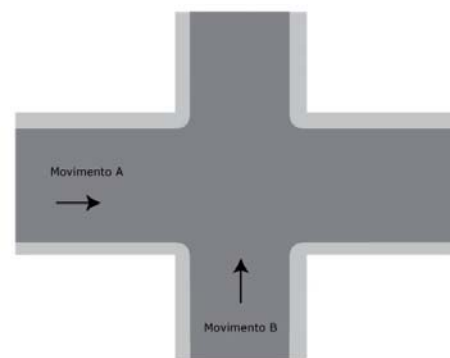
Fonte: Neto, 2010.

Na figura 3 há uma perda de tempo no início do verde e aproveitamento do amarelo. Após um período de saída, no fluxo de saturação, há uma queda no fluxo.

### Tempo de ciclo

Uma vez entendido o conceito do tempo perdido ( $T_p$ ), Vilanova (2005) apresenta uma exemplificação numérica, para demonstrar o raciocínio que fundamenta o cálculo do tempo de ciclo. A figura 4 demonstra o caso de um conjunto semafórico de apenas dois movimentos críticos. Em seguida, são observados os dados correspondentes.

Figura 4  
Representação de um esquema de cruzamento por duas vias A e B



Fonte: Vilanova, 2005.

Dados dos fluxos:

$$F_a = 2.500 \text{ veículos/h}$$

$$F_b = 1.050 \text{ veículos/h}$$

Dados dos fluxos de saturação:

$$FS_a = 5.000 \text{ veículos/h}$$

$$FS_b = 3.500 \text{ veículos/h}$$

Dados do tempo perdido:

$$T_p = 8 \text{ segundos}$$

Tomando por base o intervalo de uma hora, neste tempo, existem 2.500 veículos do mesmo movimento A que querem passar pelo semáforo. Como este movimento tem fluxo de saturação de 5.000 veículos, basta que seu verde fique aceso durante 50% do tempo de uma hora, ou seja, 1.800 segundos, para que todos os veículos possam ser atendidos. Percebe-se então que o tempo de verde de A não pode ser menor do que a relação  $(F_a / FS_a) \times 1 \text{ hora}$ , o que também pode ser escrito como  $Y_a \times 1 \text{ hora}$ .

Analogamente, pode-se dizer que ao movimento B precisa ser reservado um pedaço da hora igual a  $Y_b \times 1 \text{ hora}$ , que corresponde a  $1.050/3.500$ , ou seja, 30% da hora considerada, ou 1.080 segundos.

Existe também outra parcela que precisa ser atendida. A cada ciclo existe um período, denominado tempo perdido ( $T_p$ ), em que o aproveitamento, para efeito de escoamento de veículos, é nulo. Assim, hipoteticamente, a cada ciclo é necessário pagar um tributo de valor fixo. Quanto menor for o tempo de ciclo, mais vezes ele ocorrerá durante o intervalo-base da hora considerada e, conseqüentemente, mais vezes o pagamento deste tributo será necessário. Pode-se cal-



cular o tempo que não é aproveitado durante a hora-referência através do produto do número de ciclos que existem na hora pelo tempo perdido despendido a cada ciclo (1 hora/Tciclo) x Tp.

Então, a situação limite de um tempo de ciclo é a soma das três parcelas exatamente iguais à hora inteira. Nota-se que a parcela reservada para o escoamento dos veículos é fixa e depende apenas das características do local (fluxo e fluxo de saturação). Independente, portanto, da programação. Entretanto, a parcela dedicada ao tempo perdido varia em função do tempo de ciclo adotado. Quanto menor o tempo de ciclo, mais vezes ele ocorrerá ao longo da hora considerada e, conseqüentemente, maior será a parcela destinada à perda de tempo nas transições entre movimentos. O menor tempo de ciclo (denominado Tciclo min) será aquele que provocar a parcela relativa à sobra igual a zero. Nesta situação, tem-se:

$$Y_a * 1 \text{ hora} + Y_b * 1 \text{ horas} + (1 \text{ hora} / \text{Tciclo min}) * T_p = 1 \text{ hora} \quad (2)$$

Que também pode ser escrito como:

$$\text{Tciclo min} = T_p / [1 - (Y_a + Y_b)] \quad (3)$$

Aplicando a expressão ao nosso exemplo, tem-se:

$$\text{Tciclo min} = 8 / [1 - \{(2500/5000) + \{1050/3500\}\}] = 40 \text{ s.}$$

De acordo com Vilanova (2005), dimensionar um movimento para 3.600 veículos/h não significa assumir que existe um veículo a cada segundo. Num intervalo de um segundo, por exemplo, pode não vir ninguém e, no segundo seguinte, em compensação, podem vir dois veículos. A conseqüência de tal aleatoriedade de chegada é que, no primeiro segundo, o verde ficará ocioso, enquanto que, no seguinte, pode acontecer de que o verde não seja suficiente para atender ambos os veículos. Tem-se, ainda, outra fonte de irregularidade: o volume de trânsito depende de uma série de fatores, cujo efeito é praticamente impossível de prever, tais como: condições climáticas, eventos, incidentes no sistema viário etc.

Em conseqüência de tais aleatoriedades de trânsito, deve-se reservar uma parte do ciclo para absorver seus efeitos negativos e, assim, um ciclo mínimo é incapaz de enfrentar qualquer desuniformidade do fluxo. Mesmo tendo que aumentar o tempo de espera dos veículos no semáforo, torna-se obrigatório trabalhar com tempos de ciclos bem superiores ao mínimo.

O método clássico para enfrentar este problema foi desenvolvido pelo engenheiro de trânsito inglês F. V. Webster, em 1958, e conduz à equação mais conhecida no Brasil para o cálculo do tempo de ciclo:

$$\text{Tciclo ótimo} = [(1,5 * T_p) + 5] / [1 - \text{somatório } Y] \quad (4)$$

Segundo Vilanova (2005), a equação de Webster apresenta uma forte restrição: pressupõe que a chegada dos veículos obedece a uma distribuição randômica ou aleatória. No meio urbano, é muito

difícil encontrar um local que tenha tal característica. O próprio Webster avisa, em seu trabalho original, que considera-se que o trânsito chega randômicamente desde que o ponto de observação esteja a alguma distância de um fator de perturbação como, por exemplo, um semáforo a montante. Pode-se ainda apontar outra causa para a não-aleatoriedade. Só é possível adotar-se o modelo randômico, ou aleatório, se os eventos forem independentes entre si. Isso só é verdade se a quantidade de faixas de tráfego for tão numerosa a ponto dos veículos não sofrerem influência mútua. Sempre que um veículo tiver sua velocidade influenciada por outro veículo, não se pode mais falar em processo randômico.

Esta seção foi de importante contribuição, a fim de mostrar a complexidade da dinâmica de uma cidade e como o Brasil vem sofrendo com isto, quando existe uma grande resistência para a implantação de medidas inovadoras em relação à programação semafórica.

## MODOS DE OPERAÇÃO DE SEMÁFOROS

Após o entendimento do funcionamento básico de um conjunto semafórico, nesta seção serão discutidos dois tipos de modos de operação de semáforos: em tempo fixo (mais usual nas cidades brasileiras) e em tempo real.

Segundo Pereira e Ribeiro (2007), o controle em tempo real tem uma tecnologia complexa e apresenta conceitos desconhecidos para aqueles acostumados com o controle de tempos fixos. Alguns técnicos afirmam que, após a implantação de tal sistema, o trabalho deles não existiria mais, pois a operação do novo sistema seria automática. Sabe-se que isto não ocorre necessariamente desta maneira, pois a operação de um sistema em tempo real exige dedicação de uma equipe capacitada e atenta.

Antes de discutir a eficiência dos operadores semafóricos, existe a necessidade de uma quebra de paradigma, referente aos modos de operação semafórica. Esta quebra nada mais é que a evolução normal das cidades. Porém, se a cidade cresce e as tecnologias não, por quaisquer que sejam os motivos, isso contribuirá apenas para uma piora na qualidade de vida de seus habitantes.

Olhando por outro lado, a evolução tecnológica deve ser acompanhada de experiências de fatos consumados no passado. Portanto, a discussão aqui presente não consiste apenas na substituição, nas grandes cidades brasileiras, de todos os semáforos em tempo fixo por semáforos em tempo real e, sim, uma melhor ponderação na hora da escolha de uma futura implantação semafórica.



www.antp.org.br



### Semáforos operados em tempo fixo

Programar semáforos em tempo fixo, em uma área caótica, não é uma tarefa fácil. A figura 5 mostra a variação média do fluxo em uma via qualquer e demonstra que um conjunto semafórico operado em tempo fixo pode ser programado em cinco estágios, devido à variação de veículos por hora.

Figura 5  
Representação gráfica de veículos por hora x horas do dia



Fonte: Neto, 2010.

Nota-se que para a variação média do fluxo no tempo semafórico deve ser incluso um tempo extra devido às aleatoriedades cotidianas. Quanto maior for a demanda de tráfego na região, maior o tempo perdido no escoamento dos veículos. Como citado anteriormente, o conjunto semafórico pode ser programado em cinco estágios ao longo do dia, melhorando o desempenho semafórico:

- Estágio 1: Programação semafórica para um fluxo de 500 veículos por hora;
- Estágio 2: Programação semafórica para um fluxo de 1.000 veículos por hora;
- Estágio 3: Programação semafórica para um fluxo de 750 veículos por hora;
- Estágio 4: Programação semafórica para um fluxo de 600 veículos por hora;
- Estágio 5: Programação semafórica para um fluxo de 2.000 veículos por hora.

Porém, um dos maiores problemas encontrados na programação semafórica em tempos fixos é a sua necessidade de constantes atualizações, devido às modificações que ocorrem no trânsito todos os anos, tais como aumento de frota, criação/extinção de polos geradores de tráfego etc.



www.antp.org.br

Segundo Pereira e Ribeiro (2007), outro problema que controladores em tempos fixos enfrentam é a inexistência de reação frente às situações atípicas de trânsito, pois as programações têm como dados de entrada pesquisas de contagem veicular baseada em séries históricas. Outro dado de entrada é o fluxo de saturação, calculado para uma situação da via. Se estas condições são modificadas, as programações não se alteram automaticamente, necessitando da intervenção do operador, que sempre pode tomar decisões parciais.

Todavia, não se deve esquecer o quanto os semáforos em tempo fixo são importantes. De acordo com Neto et al. (2006), quando o objetivo é priorizar o tráfego em corredores arteriais, os planos de tempo fixo podem ser programados obedecendo a três esquemas de coordenação distintos: simultâneo, alternado e progressivo. O primeiro se caracteriza pela abertura simultânea de um grupo de semáforos, com a desvantagem de estimular altas velocidades. No segundo, os semáforos abrem de forma alternada, podendo ser eficientes apenas quando houver uma equidistância entre as interseções semaforizadas. Já o esquema progressivo, denominado como maximização da banda de passagem (ou popularmente denominada onda verde), se caracteriza pelo ajuste dos instantes de abertura de cada semáforo, de forma a proporcionar a passagem de um pelotão por toda a via, mantendo-se uma certa velocidade de progressão.

Essa tecnologia é muito bem desenvolvida, e conta com o auxílio de softwares bem eficientes como o Transyt, um programa complexo capaz de modelar situações diversas de tráfego com o uso de um algoritmo de minimização.

### Semáforos operados em tempo real

Semáforos operados em tempo real consistem em detectores instalados na via. Através da passagem do tráfego, a informação é transmitida aos computadores, que adaptam os tempos semafóricos para atender a demanda veicular. Estes sistemas otimizam continuamente três parâmetros: ciclo, fração de verde e defasagem.

Nesta seção, será abordado o sistema de automatização Scoot, o qual possui seu controle semafórico muito parecido com o do Transyt. Segundo Robertson (1986), o Scoot é um Transyt em tempo real, tendo os dois programas os mesmos princípios de otimização. A diferença entre os dois modelos é que o Scoot reage às variações aleatórias que ocorrem de ciclo para ciclo, acompanhando a variação da demanda ao longo do tempo.

Ming (1997) corrobora e complementa estas informações ao mencionar que o Scoot é um sistema de controle de tráfego em tempo real, na medida em que variam os tempos semafóricos (percentual do

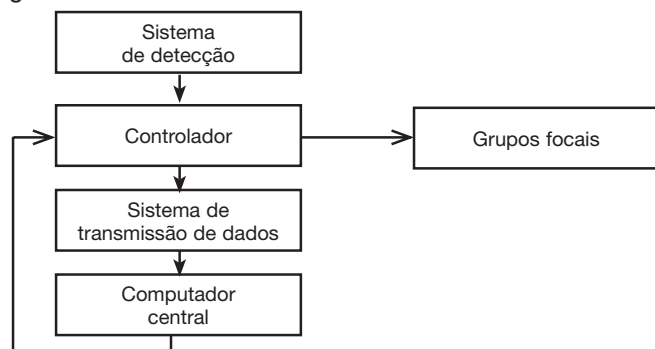
tempo de verde, ciclo de defasagem) em função do fluxo do tráfego a cada momento. Ao contrário do controle de tráfego em tempos fixos, em que os tempos semafóricos são invariáveis, o sistema de controle real reage às variações de tráfego de forma a adequar os tempos semafóricos ao tráfego em cada instante.

Ainda segundo Ming (1997), o sistema Scoot é constituído por cinco etapas:

- sistema de detecção de veículos;
- sistema de transmissão de dados;
- computador central;
- controladores;
- grupos focais.

A figura 6 representa o diagrama de blocos do sistema Scoot.

Figura 6  
Diagrama de blocos do sistema Scoot



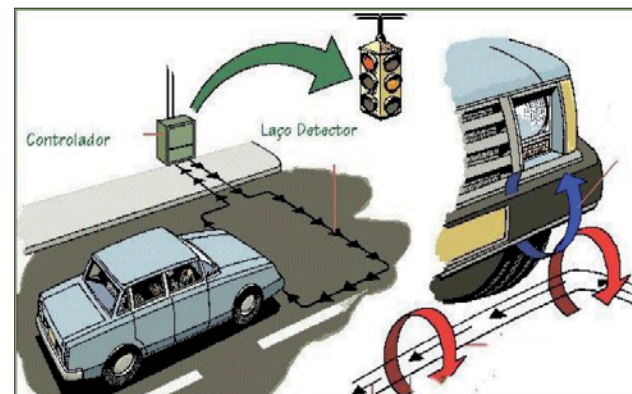
Fonte: Ming, 1997.

Na figura 7, o sistema de detecção indica o fluxo de veículos e os dados são recolhidos pelo controlador que os envia através do sistema de transmissão de dados ao computador central. Este processa as informações, calcula os tempos semafóricos e envia ao controlador que os implementa nos grupos focais. No sistema Scoot os tempos semafóricos são calculados para escoar os veículos que estão sendo detectados no momento e não para os veículos que chegam no ciclo seguinte.

Segundo Ming (1997), a detecção dos veículos deve ser feita obrigatoriamente antes de o veículo chegar a linha de retenção, para que haja tempo suficiente para o sistema Scoot realizar todo o processamento necessário. Normalmente, a detecção deve ser feita 8 a 12 segundos antes de o veículo chegar na linha de retenção.



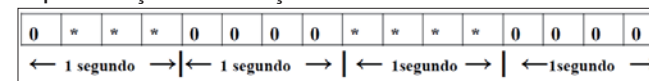
Figura 7  
Cruzamento de via com a instalação dos laços detectores de veículos



Fonte: Neto, 2010.

Para entender o funcionamento deste sistema de detecção dos veículos feita através de laços detectores colocados no pavimento, será usado um exemplo numérico apresentado na obra de Ming (1997): a cada 1/4 de segundo o sistema de detecção verifica se o laço está ocupado ou não, como mostra a figura 8.

Figura 8  
Representação da detecção



0 = não ocupado; \* = ocupado

Fonte: Ming, 1997.

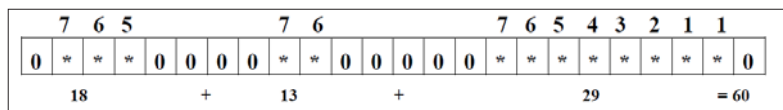
Assim, a detecção é feita em intervalos de 1/4 de segundo (250 milissegundos). O que se detecta não é o fluxo ou o volume de veículos (em veículos por segundo ou por hora), e nem a porcentagem de ocupação do laço, mas sim uma mescla de ambos, cuja unidade é expressa em LPU (link profile unit), sendo que o número de LPU é obtido da seguinte forma:

- o 1º intervalo de 1/4 de segundo "\*" (ocupado) após um intervalo com "0" (não ocupado), equivale a 7 LPU;
- o 2º equivale a 6 LPU;
- o 3º equivale a 5 LPU;
- o 4º equivale a 4 LPU;
- o 5º equivale a 3 LPU;

- o 6° equivale a 2 LPU;
- o 7° equivale a 1 LPU.

Para melhor compreensão deste cálculo considera-se um exemplo numérico de detecção de três veículos em um período de 6 segundos (24 intervalos de ¼ de segundo), conforme mostra a figura 9.

**Figura 9**  
Representação de detecção (exemplo numérico)



Fonte: Ming, 1997.

Neste exemplo, os três veículos representam 60 LPU, o que equivale a 20 LPU médios por veículo. A partir destas informações, pode-se determinar alguns parâmetros, como:

- Em termos de fluxo de tráfego:  $\text{fluxo} = 3 \text{ veículos} / 6 \text{ segundos} = 0,5 \text{ veículos/segundo} = 1.800 \text{ veículos/hora}$ ;
- Em termos de porcentagem de ocupação:  $\text{ocupação} = 13 \text{ intervalos} / 24 \text{ intervalos} = 54\%$ ;
- Em termos de LPU:  $60 \text{ LPU} / 6 \text{ segundos} = 10 \text{ LPU/segundo}$ .

Desta forma, a medida em LPU ocorre em função do fluxo de veículos, da velocidade, do comprimento dos veículos e da disposição física do laço da via. Assim, não existe uma equivalência fixa e matemática entre o número de veículos e o número de LPU, uma vez que, a rigor, a equivalência entre as duas medidas varia de local e de momento, além de depender do comportamento do tráfego em cada local e em cada momento.

Após esta breve explicação das análises de Ming (1997) a respeito do funcionamento do sistema Scoot de controle de tráfego em tempo real, observa-se de maneira explícita um aumento do benefício urbano trazido por este sistema totalmente automatizado, a fim de melhor se ajustar à variação da dinâmica urbana ao longo do dia.

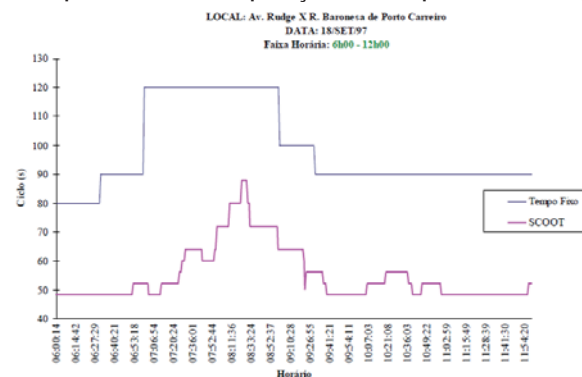
Para melhor ilustrar esta situação, a figura 10 apresenta um gráfico onde a CET/SP compara a operação semafórica em tempo fixo e em tempo real, no cruzamento da avenida Rudge com a rua Baronesa de Porto Carr, no bairro de Santa Cecília, cidade de São Paulo (SP).

Nota-se claramente que o semáforo em tempo real é muito mais adaptado ao longo da hora do dia do que o semáforo em tempo fixo, devido à constante aleatoriedade do dia, diminuindo o tempo de espera do motorista que deseja efetuar este cruzamento.



www.antp.org.br

**Figura 10**  
Comparativo entre a operação em tempo fixo e o tempo real



Fonte: Neto, 2010.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo explicar como funciona a programação semafórica, para melhor compreensão de como ela se correlaciona com a dinâmica urbana. Para a inserção de semáforos em uma cidade foram discutidos basicamente dois tipos de programação: em tempo fixo e em tempo real. O ponto notório de aprendizagem é a interpretação dos fatos ocorridos na complexidade urbana, em que agentes e tomadores de decisões responsáveis por recursos públicos optam por medidas inovadoras que apresentam tecnologias de última geração. Ou ainda optam por sistemas ultrapassados pela dificuldade de quebrar certos paradigmas, por interesses não pertinentes à discussão neste trabalho.

Depois de feita uma revisão bibliográfica referente aos programas semafóricos, percebe-se que os semáforos em tempo real se adaptam melhor a alguns cenários urbanos, onde este apresenta maior eficiência para combater a aleatoriedade cotidiana, apresentando-se assim como instrumento importantíssimo devido a sua autorregulação semafórica, diminuindo consideravelmente tempos perdidos nos ciclos semafóricos. Porém, vale ressaltar a importância da visão sistêmica para futuras decisões, uma vez que alguns estudos apresentam semáforos em tempo fixo como mais eficientes em corredores arteriais em baixas condições de tráfego, segundo Neto et al. (2006). Complementarmente, para Pereira e Ribeiro (2007), os semáforos em tempo fixo são mais vantajosos, pois eles têm um maior controle sobre os tempos de verde, defasagem e tempos de ciclo, com menos dependência em relação à manutenção.

No entanto, em outro estudo de caso feito em seis interseções semaforizadas integrantes do sistema centralizado de controle do tráfego de

Fortaleza (CTAFOR), foi concluído o seguinte, segundo Loureiro et al. (2005): existe uma crescente superioridade do controle em tempo real sobre planos fixos à medida em que as demandas de pico atingem o seu ápice. Estudos adicionais já compararam o desempenho das duas estratégias de controle centralizado em períodos fora do pico, assim como em corredores arteriais, permitindo uma avaliação abrangente e sistêmica dos benefícios operacionais do sistema em tempo real.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LOUREIRO, C. F. G.; GOMES, M. J. T. L. e LEANDRO, C. H. P. L. Avaliação do desempenho nos períodos de pico do tráfego de interseções semaforizadas com controle centralizado em tempo fixo e real. 2005. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos.php>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- MING, S. H. Uma breve descrição do sistema Scoot. *Notas Técnicas* (NT 201), 1997. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/notas-tecnicas.aspx>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- \_\_\_\_\_. Cálculo do ciclo de verdes ótimos quando o fluxo de saturação não é constante. *Notas Técnicas* (NT 208), 2001. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/notas-tecnicas.aspx>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- \_\_\_\_\_. Dimensionamento do entreverdes. *Notas Técnicas* (NT 212), 2010. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/notas-tecnicas.aspx>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- NETO, J. C. *Notas de aula de Tráfego Urbano*. 2010. Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie. Disponível em: [http://meusite.mackenzie.com.br/professor\\_cucci/aulas.htm](http://meusite.mackenzie.com.br/professor_cucci/aulas.htm). Acesso em: 15 de julho de 2013.
- NETO, P. M. P.; NETO, M. M. C. e LOUREIRO, C. F. G. Progressão em tempo real versus tempo fixo por banda de passagem em períodos de baixa demanda. Estudo de caso. 2006. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos.php>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- PEREIRA, G. e RIBEIRO, M. V. M. Controle de tráfego em tempo real: novos paradigmas, dificuldades e primeiros resultados. O caso do controle inteligente de tráfego (CIT). In: 16º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 2007. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP. Maceió-AL, 2007.
- PIETRANTONIO, H. e BONETTI W. *Semáforos atuados pelo tráfego*. Laboratório de Estudos Metodológicos em Tráfego e Transportes (LEMT), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- ROBERTSON, D. I. Research on Transyt and Scoot methods of signal coordination. *ITE Journal*, jan. 1986, p. 36-40.
- VILANOVA, L. e NETO, J. C. *Redução de acidentes devido à reprogramação semaforica*. 2006. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos.php>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- \_\_\_\_\_. Fundamentos da programação semaforica. 2005. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos.php>. Acesso em: 15 de julho de 2013.
- YUKI, H. S. *Projeto de controlador inteligente para semáforo*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008l.



[www.antp.org.br](http://www.antp.org.br)



## Sistema de Informações da Mobilidade Urbana

O Sistema de Informações da Mobilidade Urbana desenvolvido pela ANTP, em parceria com o BNDES, consiste em banco de dados e informações especialmente desenhado para permitir, aos setores públicos federal, estaduais e municipais, o adequado acompanhamento das várias facetas de caráter econômico e social envolvidas na dinâmica do transporte e trânsito urbanos dos municípios brasileiros com população superior a 60 mil habitantes.

O Sistema de Informações da Mobilidade Urbana foi desenvolvido para agregar mais de 150 dados básicos dos 437 municípios, com 60.000 ou mais habitantes em 2003, obtidos por meio de questionário enviado pela ANTP e preenchidos pelos responsáveis do transporte e trânsito municipais e metropolitanos. A abrangência das áreas consideradas são as seguintes: ônibus municipais; ônibus metropolitanos; metro ferroviário; trânsito e mobilidade urbana.

Consulte o Sistema de Informações da Mobilidade Urbana no site da ANTP - [www.antp.org.br](http://www.antp.org.br)