

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DE COORDENAÇÃO ENTRE SEMÁFOROS: O CASO DE FORTALEZA-CE

Jurislene Araújo Freitas
Eduardo Araújo de Aquino
Makey Nondas Maia

Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR
Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Waldemiro de Aquino Pereira Neto

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN
Universidade Federal do Ceará – UFC

Resumo

Através da operação de grupos de semáforos em coordenação é possível melhorar o desempenho operacional de corredores de tráfego, uma vez que o sincronismo entre semáforos adjacentes permite reduzir o número de paradas em um fluxo de veículos, diminuindo os atrasos e elevando a velocidade operacional. Para que este recurso seja bem utilizado é necessário estabelecer critérios adequados que permitam identificar corretamente quando um semáforo deve operar em um grupo de coordenação e quando deve operar isolado. Esta comunicação técnica apresenta os resultados obtidos aplicando o método proposto pelo DENATRAN, através de um ajustamento para a realidade da cidade de Fortaleza-CE.

1 INTRODUÇÃO

Um dos parâmetros importantes que devem ser ajustados para um bom desempenho do controle semaforico é a defasagem, através da qual é possível permitir um sincronismo na abertura das fases de verde de um corredor de tráfego, fornecendo bandas de passagem, também denominadas de ondas verdes. Este recurso permite beneficiar corredores de tráfego prioritários, elevando sua velocidade média. Para sua operacionalização é necessária a existência de coordenação entre os semáforos. A definição de quais semáforos de uma rede devem ser agrupados é uma etapa importante para se obter uma operação eficiente. Sendo assim, é importante a definição de um método para executar operações de programação dos semáforos, visando melhorar a fluidez em corredores semaforicos, no lugar de operar as interseções de forma isolada (Pereira, 2005).

Os semáforos podem ser classificados quanto a sua coordenação em dois tipos: coordenados ou não coordenados. Os semáforos não coordenados, também denominados de isolados, possuem uma atuação independentemente dos demais, não havendo nenhum tipo de coordenação ou sincronismo semaforico (Leandro, 2001), com seus tempos de ciclo independentes do valor utilizado em outros semáforos. As principais razões que justificam a utilização deste tipo de semáforo são o grande distanciamento de outros semáforos da rede e também quando o mesmo apresenta características bem diferentes dos demais, como volume, quantidade de estágios, etc. De acordo com Trindade Filho (2002), a coordenação é feita em semáforos próximos e tem o objetivo de reduzir atrasos, por meio da redução de paradas contínuas. A coordenação também é utilizada para prevenir que as filas de veículos de uma interseção aumentem de forma a prejudicar o semáforo anterior. Esta comunicação técnica tem como objetivo investigar os critérios existentes na literatura para a implantação de coordenação entre semáforos, e a partir dos resultados obtidos validar um método para ser aplicado na rede semaforica de Fortaleza-CE.

2 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE COORDENAÇÃO ENTRE SEMÁFOROS

Através de uma revisão bibliográfica foram encontrados alguns critérios utilizados para definir quando um semáforo deve operar em coordenação ou não. O *Manual Uniform Traffic Control Devices* – MUTCD (FHWA, 2003) estabelece como critério de coordenação, que os semáforos estejam localizados em uma rota principal ou em uma rede

que intercepte as principais rotas de tráfego, desde que a distância entre estes semáforos seja igual ou menor a 800 metros, sem entretanto, estabelecer critérios para identificar vias que possam ser consideradas como rotas de tráfego. O Manual da Escócia - *Criteria for Traffic Light Signals at Junctions* – desenvolvido pelo *Scottish Development Department* (1973) apresenta apenas um critério quanto à coordenação de semáforos. Ele recomenda coordenar semáforos que estejam separados por distâncias de até 300 metros. No caso de distâncias maiores, se for observado que os pelotões continuam compactos, também é recomendada a coordenação. Esta verificação no comportamento do pelotão, entretanto, depende da observação do técnico em campo e de sua avaliação pessoal, sendo bastante subjetiva.

O Manual de Semáforos do DENATRAN (1984) lista alguns critérios para definir se um semáforo irá ser coordenado a outro ou operar de forma isolada:

- a) Relação Geográfica: Tempo de percurso entre duas interseções semaforicas, sendo ambas adjacentes entre si.
- b) Volume de Tráfego: Quanto maior for o volume de veículos nas vias, mais se fará necessária a coordenação.
- c) Características do Fluxo: Caso a taxa de chegada de veículos na aproximação seja constante, ao longo do ciclo, então o período de vermelho produzirá os mesmos valores de atraso e paradas, independente do instante do início do vermelho no ciclo. Porém, se o padrão de chegada dos veículos for de pelotões cíclicos, haverá uma redução no atraso e número de paradas caso seja feita a coordenação.

O Manual de semáforos do DENATRAN (1984) definiu um índice de interdependência como um critério racional e quantitativo para se considerar a necessidade de coordenação entre dois cruzamentos, conforme apresenta a Equação 1.

$$I = \frac{0,5}{1+t} * \left(\frac{x * q_{\max}}{q_1 + q_2 + \dots q_x} - 1 \right) \quad (1)$$

onde:

I = Índice de interdependência;

t = tempo de percurso (min) entre ambos os semáforos, que é o comprimento do trecho dividido pela velocidade média dos veículos;

x = número de faixas de tráfego que escoam os veículos procedentes do cruzamento anterior;

q_{\max} = fluxo direto procedente do trecho anterior;

$q_1 + q_2 + \dots + q_x$ = fluxo total que chega à interseção.

Este índice assume valores compreendidos entre 0 e 1. O DENATRAN (1984) propõe a seguinte escala: para valores menores que 0,33 é proposta a operação não coordenada, para valores superiores a 0,43 é indicada uma operação coordenada, e no intervalo de 0,33 a 0,43 é possível utilizar qualquer uma das duas estratégias.

3 MÉTODO PROPOSTO

Considerando os métodos estudados para a definição de coordenação semaforica, é verificado que a orientação proposta pelo DENATRAN é mais abrangente, considerando mais aspectos e será utilizada neste trabalho. Algumas outras questões dificultam a coordenação entre semáforos, como a incompatibilidade decorrente da tecnologia dos controladores de semáforos, exigindo sua substituição; e a existência de ciclos muito

diferentes entre semáforos. Exceção para este caso é a possibilidade de utilização de ciclo duplo, condição possível quando um semáforo tem metade do tempo total de ciclo de outro que se pretende coordenar.

A cidade de Fortaleza possui 77% da sua rede semafórica coordenada, havendo sido definida por meio de diversas vistorias em campo e que resultaram na definição de grupos de semáforos coordenados com desempenho satisfatório. Para verificar a adequação dos valores propostos pelo DENATRAN para o Índice de Interdependência foi aplicada a Equação 1 numa amostra de 227 semáforos, que corresponde a 40% da rede. Os resultados indicaram que 54,7% dos semáforos que hoje são coordenados, pontuaram segundo a escala do DENATRAN como semáforos que deveriam estar isolados, indicando a necessidade de um ajustamento dos valores propostos. A Tabela 1 mostra alguns dados estatísticos obtidos com os Índices de Interdependência da amostra de Fortaleza.

Tabela 1: Dados estatísticos dos Índices de Interdependência da amostra

	Semáforos Isolados	Semáforos Coordenados
Média	0,26	0,30
Desvio Padrão	0,11	0,13
Máximo	0,44	0,80
Mínimo	0,02	0,00

Utilizando a média e desvio padrão do Índice de Interdependência dos semáforos isolados e coordenados da amostra, pode-se chegar a uma nova escala, como ilustrado na Figura 1. Os valores sublinhados representam os valores médios, e os valores à esquerda e à direita representam os valores correspondentes à $media \pm 1$ desvio padrão.

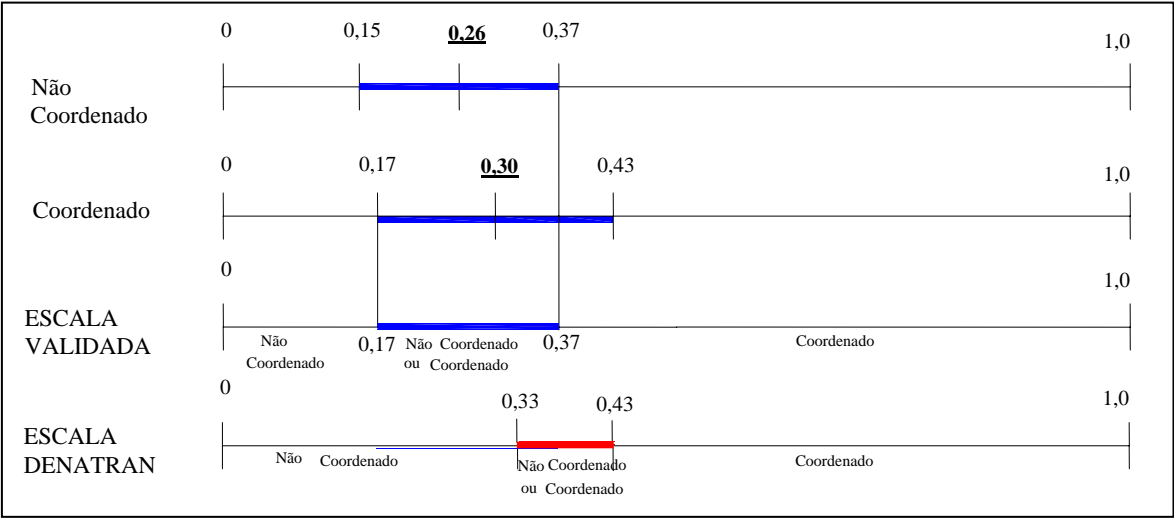


Figura 1: Escala ajustada para Fortaleza e escala original do DENATRAN

4 APLICAÇÃO PILOTO: CORREDOR DA AVENIDA BORGES DE MELO
 Foi realizada uma aplicação piloto para verificação da escala ajustada no corredor viário da Avenida Borges de Melo, em Fortaleza, que é ilustrado na Figura 2, com a coordenação analisada representada em azul. Estes semáforos não apresentam diferenças de ciclo que comprometam a coordenação. A Equação 1 foi aplicada aos semáforos em estudo e os valores do Índice de Interdependência estão mostrados na Tabela 2.

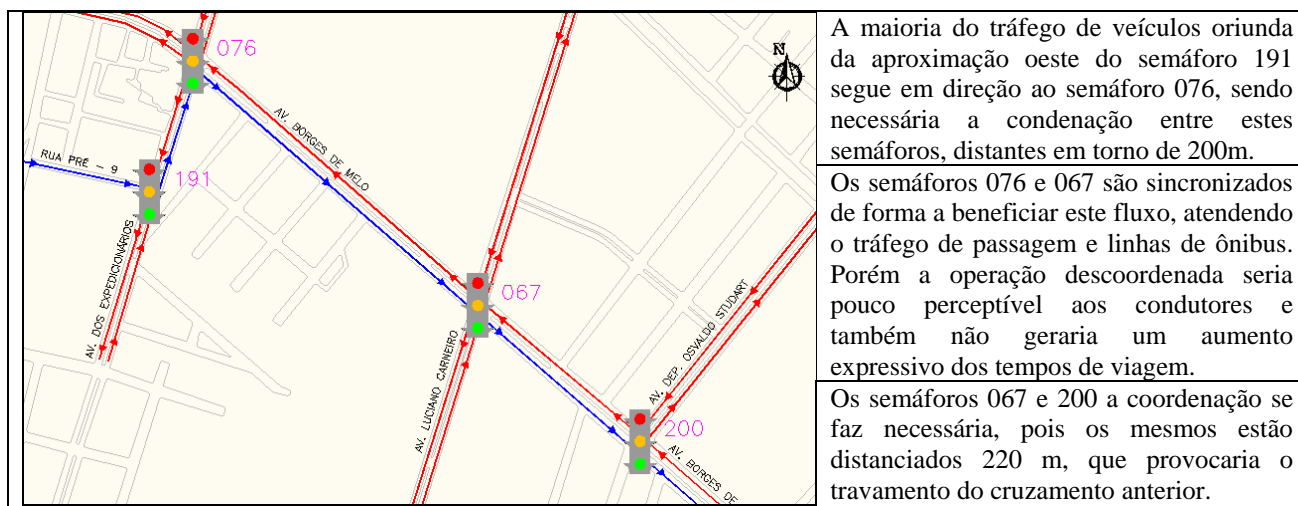


Figura 2: Características do grupo de semáforos estudado

Tabela 2: Resultados obtidos para a escala do DENATRAN e para a escala ajustada

Semáforo	Semáforo Posterior	Índice calculado	Resultado		Modo de coordenação atual
			DENATRAN	Escala ajustada	
191:OESTE	076:SUL	0,41	Coord. ou isolado	Coordenado	Coordenado
076:SUL	067:OESTE	0,00	Isolado	Isolado	Coordenado
067:OESTE	200:OESTE	0,65	Coordenado	Coordenado	Coordenado
200:LESTE	067:LESTE	0,42	Coord. ou isolado	Coordenado	Coordenado
191:SUL	076:SUL	0,41	Coord. ou isolado	Coordenado	Coordenado

5 CONCLUSÕES

Os resultados da aplicação revelaram que o ajustamento proposto para a escala do DENATRAN levou a obtenção de valores mais próximos da realidade vivenciada pelos técnicos de trânsito para definir a formação de subáreas de coordenação semafórica. Dentre os motivos da inadequação da escala do DENATRAN para as condições de Fortaleza, cabe mencionar o fato desta escala haver sido proposta há bastante tempo (25 anos), podendo ser necessária sua revalidação. Somado a isto deve ser considerada a influência de outros fatores como o padrão dos deslocamentos locais, assim como as características de adensamento e topologia da malha viária, que interferem no comportamento do tráfego e por consequência nas medidas de gerenciamento a serem utilizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DENATRAN (1984) *Manual de Semáforos*. Coleção Serviços da Engenharia. Ministério da Justiça. Departamento Nacional de Trânsito. 2ª Edição. Brasília, 1984.
- FHWA (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Federal Highway. Edição 2003. Washington: Federal Highway Administration. Disponível em: <<http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2003r1/Ch4.pdf>>.
- Leandro, C. H. P. (2001) *Procedimento Multicriterial para Estruturação e Caracterização de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, 2001.
- Pereira, L.F. (2005) *Um Procedimento de Apoio a Decisão para Escolha de Sistemas de Controle de Tráfego Considerando a Coleta Automatizada de Dados*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2005.
- Scottish Development Department (1973) *Criteria of Traffic Light at Junctions*. Signals Technical Memorandum SH6/73. isponível em www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol8/section1/sh6_73.pdf.
- Trindade Filho H. H. (2002) *Análise Comparativa do Potencial de Sistemas Centralizados para Controle de Tráfego no Brasil*. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Sistemas de Transportes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.