

Semáforos Inteligentes: uma Abordagem Alternativa

1º Amaral, M. A.

*Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Campinas, Brasil
marcos.amaral@mackenzie.br*

2º Igarashi, M. O.

*Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Campinas, Brasil
massaki.igarashi@mackenzie.br*

3º Mello Filho, L. V. F.

*Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Campinas, Brasil
luiz.mello@mackenzie.br*

4º Gabriel, J. C.

*Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Campinas, Brasil
joao.gabriel@mackenzie.br*

5º Beluzzo, B. G.

*Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Campinas, Brasil
31503853@mackenzista.com.br*

Resumo - Controles semafóricos são fundamentais para a manutenção da fluência de tráfego e segurança dos seus usuários. Muitos métodos de controle inteligente foram propostos, contudo aqui se propõe um sistema alternativo que utiliza a contagem de veículos em uma região de coleta para determinação dos tempos semafóricos, a partir do tempo padrão da companhia de engenharia de tráfego. Os resultados mostram que existe um ganho de 38% de fluxo com utilização de 33% da via e um ganho de 11% com utilização de 66% da via.

Palavras Chave Semáforo, Inteligente, Tráfego,

Abstract - Traffic lights are fundamental to the maintenance of the traffic flow and it's users safety. Although many methods have been proposed, this paper has the goal to propose an alternative system, which is based on car counting in a collect region to set the light cycle time. Those are based on the already established times from the Traffic Engineering Companies. The results show an improvement on the traffic flow of 38% of the flux with 33% of street utilization and 11% of the flux with 66% of street utilization.

Keywords Traffic Lights, Intelligence, Traffic,

I. INTRODUÇÃO

Com o aumento da frota mundial de veículos e a limitação de construção de novas vias, existe a crescente demanda por soluções que visam a maior fluidez do trânsito nos centros urbanos [1].

Uma das soluções de organização de tráfego é a utilização de semáforos para cruzamentos de vias. Porém esta solução traz a interrupção do fluxo de forma intermitente.

Vários métodos de automação ou controle destes já foram propostos para que este tipo de solução apresentasse o menor impacto possível no tráfego. Dentre estes, podem ser citados o estudo de tempo de abertura e fechamento, previsão de carga no decorrer do dia pelo histórico de trânsito, previsão de carga, estudo de arranjos de semáforos utilizando inteligência artificial [4] [5]

Diante das várias opções, o objetivo deste trabalho é trazer uma proposta de sistema de temporização inteligente que se baseie no número de veículos em uma área adjacente à via semaforizada. Assim, cada semáforo será responsável pelos seus tempos de atuação, fazendo com que o tempo de tráfego parado seja mitigado. Os resultados mostram uma melhora na fluidez para situações onde o fluxo de veículos não atinge o ponto de saturação da via, isto é, com uma taxa de ocupação < 1 [6].

O trabalho, portanto, está dividido da seguinte forma: uma análise das grandes áreas de soluções semafóricas para referência; a proposta de um modelo matemático de abertura com a base teórica. Serão então mostrados os resultados e finalmente apresentada a conclusão.

II. TIPOS DE APRIMORAMENTO DE CONTROLES SEMAFÓRICO

Os controles de tráfego com semáforos são feitos com várias abordagens, porém cabem aqui ressaltar 4 formas usuais de controle de para o aprimoramento do fluxo de veículos.

A. Cálculo de Tempo padrão - Monoplano

Nesta abordagem não existe automação do dispositivo, porém, a empresa de controle de tráfego utiliza os fatores naturais presentes nas vias para cálculo do tempo de cada semáforo [2].

Da importância da via ao aclave presente, esta é a abordagem básica para qualquer controle semafórico. Cabe salientar que no modelo proposto neste trabalho existe a necessidade de que o cálculo seja executado para determinação dos tempos de referência [3]

Nesta abordagem não são feitas modificações, portanto uma vez calculado os tempos, estes se mantêm por todo período do dia, independente do tráfego.

B. Cálculo de tempo padrão com variação por períodos

Da mesma forma que o método anterior, os cálculos são executados baseados nas características naturais da via, com

o acréscimo do histórico de trânsito. Desta forma, os tempos configurados mudam ao decorrer do dia e ao longo dos dias da semana, ainda mantendo os tempos fixos [8] [1].

Neste método o semáforo não realiza ajustes automaticamente, porém apresenta melhorias por contar com o histórico.

C. Semáforos adaptativos

Semáforos adaptativos [4] [7] têm sido sugeridos para alterar a duração dos tempos vinculado ao fluxo de veículos presente nas vias. Dentre vários tipos, aqui será mencionado o sistema OPAC - *Optimized Policies for Adaptive Control*.

Neste sistema, é feita uma simulação do que é definido como efeito de horizonte. O algoritmo simula, pelo número de veículos presente, qual será o fluxo futuro. Assim, é ajustado o tempo do semáforo para cada situação de acordo com o decorrer do tempo.

Este sistema foi proposto em 1979, porém ainda de forma estática. Os cálculos sendo executados e transmitidos posteriormente para o controle das lâmpadas.

Este método já se encontra na quinta versão e conta com o cálculo de trânsito de horizonte em tempo real, tornando-o mais viável. Esta tecnologia já se encontra implementado em alguns semáforos nos Estados Unidos.

O modelo deste trabalho segue este método, onde somente um cruzamento será automatizado sem o controle dos demais, como descrito na subseção a seguir.

D. Semáforos adaptativos por comando central

Muito comum em vias longas e semaforizadas de forma ostensiva, é feita uma sincronia dos semáforos para melhorar a fluidez da via. Isso pode ser obtido por cálculo de tempo e sincronismo ou por um controle central [5].

Porém, foram identificadas possibilidades de inserir um controle central que, ao monitorar o tráfego, altera os tempos de abertura e fechamento de acordo com um controle macroscópico da região.

Apesar de ser intuitivamente uma solução mais geral, o número de variáveis e necessidade de processamento é muito acrescida, de forma que esta solução traz a necessidade de instalação de uma infraestrutura mais robusta. Algumas empresas já possuem este tipo de solução, porém ainda vinculada ao monitoramento de uma central de tráfego, não sendo totalmente independentes.

Aqui o sistema proposto busca a total independência da unidade semaforizada e, portanto, não será utilizada esta abordagem. Ao invés disso, será feita a inserção da tomada de decisão no próprio local.

III. TRÁFEGO E OCUPAÇÃO DE VIAS

Para a automação de um semáforo será necessário o dimensionamento do fluxo de veículos nas vias que fazem parte do sistema. Assim, define-se *densidade* (k) pela quantidade de veículos presentes em uma via para um dado comprimento unitário em um dado instante. Usualmente, este é expresso em *veículo/km*, [1]

Fluxo (q) pode ser descrito pela quantidade de veículos que se deslocam pela via em um dado momento e, por fim, à

velocidade é atribuída a variável u . A relação entre densidade, velocidade e fluxo pode ser descrita por:

$$q = uk \quad (1)$$

Portanto:

$$k = \frac{q}{u} \quad (2)$$

Intuitivamente, em uma via com limite de velocidade máxima fixa, não é necessário analisar o fluxo de veículos de uma forma dinâmica, mas sim a densidade do sistema semaforizado pelas ruas que formam o mesmo. O sensoriamento pode ser escolhido baseado no número de veículos que circulam uma área de coleta.

Define-se então *região de coleta* o conjunto das ruas cujos tráfegos se direcionam ao semáforo em questão.

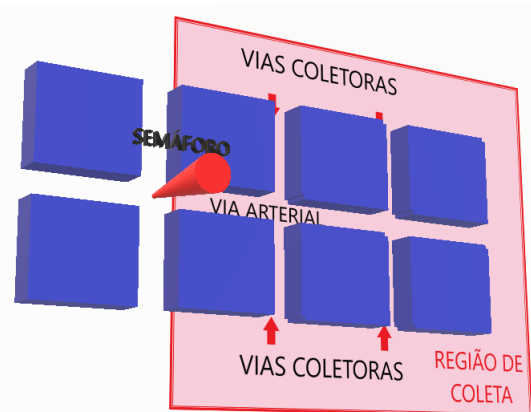


Fig. 1. Região de Coleta

O volume de veículos que um semáforo irá receber é derivado do volume de veículos na região de coleta. Pode ser previsto que não serão todos os veículos que entram na região que irão participar do controle semaforizado, porém, se faz necessária uma leitura distante por dois motivos principais:

- Rapidez de abertura do semáforo para tráfego abaixo do limite da via;
- Contagem de veículos de entrada para tráfego intenso ou acima do limite da via;
- Enterverdes com foco em segurança na via.

O tipo de sensoriamento das vias não será abordado neste trabalho, uma vez que existem várias opções que podem ser utilizadas, dependendo da localidade e do custo estimado do projeto.

De posse das definições, é possível desenvolver um algoritmo que possa relacionar a densidade pelo tempo de abertura, na seção a seguir.

IV. ALGORITMO DE MODIFICAÇÃO DO TEMPO

Os tempos das etapas semaforizadas são objeto de estudo que leva em conta vários aspectos, como importância da via, afluência, hierarquia e outros fatores. Em regime de densidade

de sobrecarga, soluções especiais devem ser buscadas. Desde mudança de tráfego até controles semafóricos em caráter emergencial. A este será tratado como regime de exceção, portanto, deve ser tratado pela empresa de engenharia de tráfego com soluções diversas às propostas aqui.

Tomando por base os regimes de operação do sistema dentro dos níveis de carga suportados pela via, notam-se as seguintes situações limítrofes:

- 1) Rua 1 - sem veículos / Rua 2 - sem veículos
- 2) Rua 1 - capacidade máxima / Rua 2 - sem veículos
- 3) Rua 1 - sem veículos / Rua 2 - capacidade máxima
- 4) Rua 1 - capacidade máxima / Rua 2 - capacidade máxima

Das condições limítrofes descritas, o item 4 apresenta pouca ou nenhuma oportunidade de melhoria por parte do semáforo, uma vez que ambas as ruas estão em sua capacidade máxima já estudada e determinada pela engenharia de tráfego local. Portanto será adotada como tempo máximo já determinado para o sistema, ou seja, cabe uma análise de taxa de ocupação para equalizar a priorização destas vias neste modo de operação [1].

Na condição 1 a ausência de veículos faz com que não seja necessário qualquer controle especial do semáforo para aumento do fluxo de veículos. Restam assim para desenvolvimento as variações de densidade de veículos nas vias entre estas condições.

Adicionalmente, considerando o tempo de reação humana, ao abrir o semáforo, o condutor precisa processar a informação e acelerar seu veículo até a passagem. Isto não ocorre de forma uniforme para todos os veículos por já estarem em movimento quando o primeiro da fila finalizou sua passagem.

Assim, é proposto um modelo matemático que presume um maior tempo para os primeiros veículos, e uma adesão cada vez menor com o acréscimo. Este modelo pode ser descrito

$$T_{Via1} = T_{Total} \times (1 - e^{-kN}) \quad (3)$$

Neste modelo, N é definido como o coeficiente de abertura e k a densidade instantânea no momento da abertura do sinal. O que garante o seguinte comportamento:

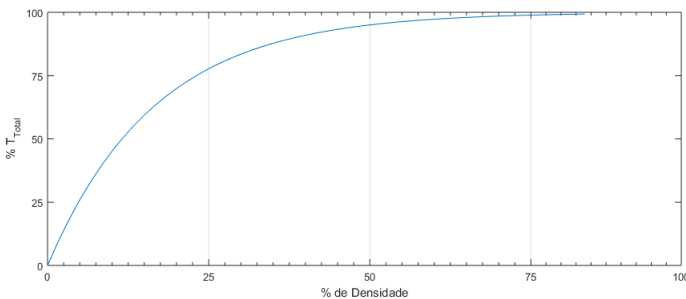


Fig. 2. Tempo de atuação versus densidade de tráfego.

Nas regiões limítrofes, não teremos tempo de abertura para nenhum veículo, porém ao saturar a via, teremos os tempos já

definidos pela companhia de engenharia de tráfego por meio das taxas de ocupação.

V. ALGORITMO DE MODIFICAÇÃO DO TEMPO

O algoritmo aqui presente simula um cruzamento em nível de duas vias de mão única com um semáforo de abertura simples. Será também determinado que cada via somente apresentará uma faixa de rodagem, minimizando assim variáveis de uma primeira simulação.

O algoritmo proposto para a realização deste trabalho será descrito abaixo

Iniciação

Determinação de tempo de cada semáforo

$$T_{sem1} = T_{ST1} \times (1 - e^{-k_1 N_1});$$

$$T_{sem2} = T_{ST2} \times (1 - e^{-k_2 N_2});$$

$$Numveiculos = 0$$

Contagem de veículos por ciclo

```

if  $T_{total} > 0$  then
  if  $T_{sem1} > 0$  then
     $Numveiculos = Numveiculos + 1;$ 
     $T_{sem1} = T_{sem1} - 1;$ 
  end if
   $T_{total} = T_{total} - T_{sem1};$ 
  if  $T_{sem2} > 0$  then
     $Numveiculos = Numveiculos + 1;$ 
     $T_{sem2} = T_{sem2} - 1;$ 
  end if
   $T_{total} = T_{total} - T_{sem2};$ 
end if

```

Finalização

Notação:

T_{sem1} ou T_{sem2} - é o tempo de abertura das ruas calculado a partir da equação 3

k_1 e k_2 são respectivamente os coeficientes de tempo de abertura para aumento ou diminuição dos mesmos relativo ao número de veículos no sistema.

N_1 e N_2 são os números de veículos nas respectivas regiões de coleta.

T_{ST1} ou T_{ST2} - tempo atual das ruas calculados pela empresa de engenharia de tráfego

$Numveiculos$ - é o número de veículos que passaram pelo sistema

T_{total} - o tempo de análise.

A. Simulação e Resultados

Para as simulações foram utilizados alguns parâmetros fixos no algoritmo. Cada ciclo de abertura de um semáforo

foi feito com 30 segundos, em duas ruas. Isto foi repetido cumulativamente por 60 vezes para totalizar 1 hora de análise.

Não estão sendo considerados aqui os tempos de travessia de pedestres para simplificação e verificação do impacto do modelo no fluxo de veículos.

Uma vez que o trânsito é cíclico, a cada momento semáforo será submetido a carga de 1 carro até 60 veíc em uma mesma abertura. Adicionalmente foi condicionar fluxo de 0,5 veículos por segundo.

Para comparação, os primeiros parâmetros de N são colhidos tendendo ao infinito. Por conseguinte, na equaçi tem-se:

$$T_{Via1} = T_{Total} \times (1 - e^{-k\infty})$$

$$T_{Via1} = T_{Total} \times (1) = T_{Total}$$

Percebe-se então o comportamento de um semáforo comum para valores de N muito elevados. Este comportamento será utilizado como padrão para comparação com sistema já instalado. O restante dos índices de N foram escolhidos com base na quantidade de veículos por ciclo, vistos na figura 3.

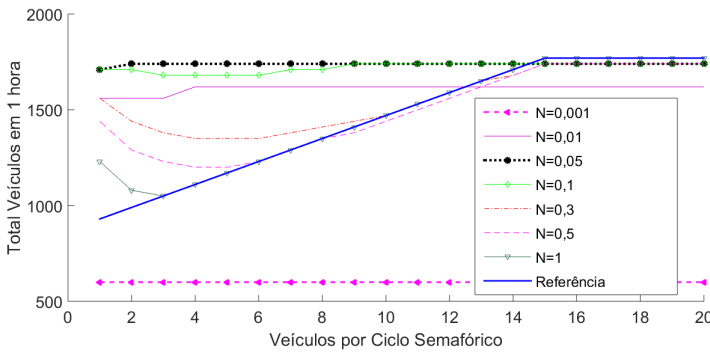


Fig. 3. Simulações para diferentes valores de N

Pode ser visto na figura acima que o método apresenta uma melhora significativa de fluxo na região não saturada de trânsito. Uma vez que o volume de veículos na saturação depende de fatores externos ao semáforo, considera-se que esta abordagem pode trazer maior fluidez para situações pontuais.

Cabe notar também que é imprescindível a atenção ao valor de N , uma vez que valores altos aproxima o comportamento deste sistema ao semáforo convencional. Já o outro extremo, faz com que a saturação do semáforo ocorra para valores menores de densidade. Para este trabalho, o valor com melhores resultados se mostrou $N = 0,05$, promovendo um grande ganho na região não saturada e uma perda pequena na região de saturação.

Com valor de $N = 0,5$ pode ser visto na figura 3 alguns ganhos numéricos que representam o ganho de fluxo possível pela adição do modelo ao semáforo tradicional. Uma vez que o fluxo máximo definido aqui é de 0,5 veículos por segundo, e o tempo de abertura semafórica é de no máximo 30s, o maior número de veículos que atravessam o cruzamento serão 15.

As taxas de ocupação de 33% e 66% respectivamente serão de 5 veículos por segundo e 10 veículos por segundo, mostrado na figura 4. Pode-se ver que ambos trouxeram um aumento no fluxo total de 38% para 5 veículos e 11% para 10 veículos

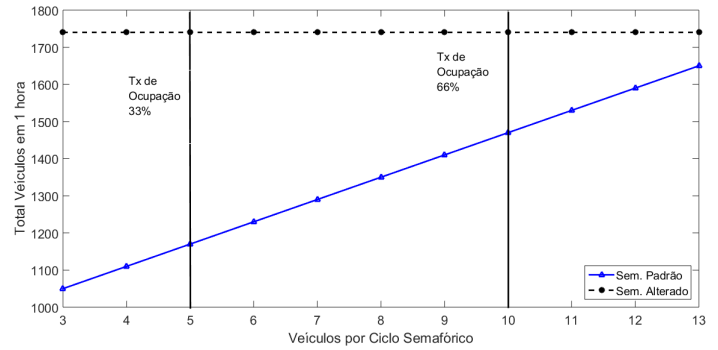


Fig. 4. Simulações para diferentes valores de N

Fica evidente então que ao fazer uma comparação de número de veículos que conseguem a travessia no cruzamento é incrementada quando o número de veículos não se encontra acima da capacidade da via. Isto pode ser melhor evidenciado ao comparar o número de veículos que atravessam com sucesso por rua por ciclo semafórico de um cruzamento comum, visto na figura 5, e a mesma análise em uma rua com o sistema implantado com $N = 0,05$ na figura 6

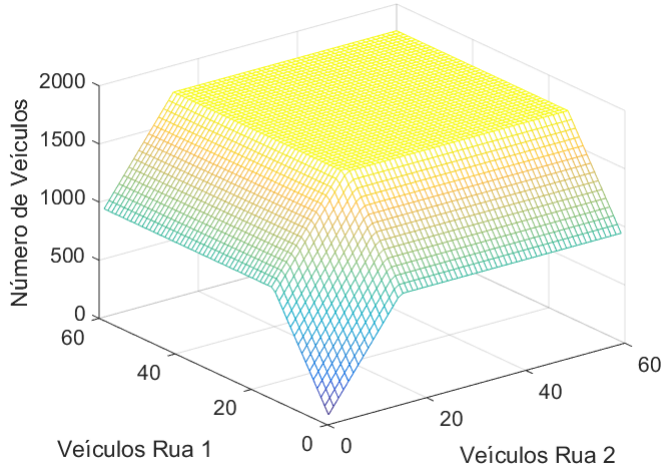


Fig. 5. Número de veículos passantes por via em um cruzamento com controle semafórico padrão

Fato também a ser apontado deste estudo, é que regiões ao entorno do sistema sem veículos, não existe melhora significativa desta implantação do ponto de vista de fluxo, contudo, por se tratar de um sistema que prevê mudanças de tempo, tem o efeito de mitigar o tempo de veículo parado.

VI. CONCLUSÃO

Os semáforos inteligentes ainda são minoria no trânsito ao redor do mundo. Muitos avanços já foram implementados com

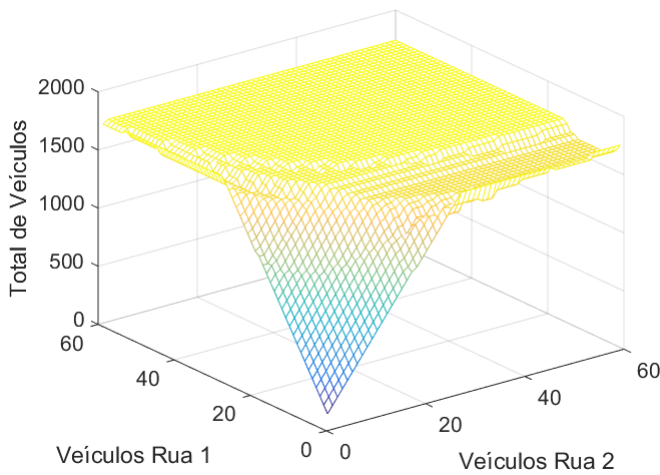


Fig. 6. Número de veículos passantes por via em um cruzamento com controle semafórico inteligente

o estudo das vias e os necessários estudos de temporização. Também com a escolha seletiva de tempos de atuação pelo horário e condições especiais já são realidade, porém ainda existe espaço para melhorias significativas.

Dentro das possibilidades de automação, a inserção da capacidade de troca de tempo pela própria unidade semafórica se mostra uma opção interessante pelos resultados.

Pode ser visto nos resultados que na faixa de tráfego normal houve um acréscimo de vazão de veículos mostrando que variar o tempo baseado no número de veículos é uma solução com potencial para diminuir o impacto deste tipo de controle.

Contudo é necessária uma atenção para alguns detalhes, como o tipo de sensoriamento e a extensão do local de medição. A leitura precisa do número de veículos é fundamental para a operação mais precisa. Além disso, é necessário um estudo de qual tipo de sensoriamento é o melhor para uma área de coleta.

Outro ponto que vale ressaltar, é a necessidade de estudo sobre a interação de uma rede de semáforos com abertura independente. Assim, poderá ser verificada a eficácia em termos de interação.

Como o maior gerador de vias congestionadas é diretamente ligado aos controles semafóricos, alternativas na tomada de decisão por inteligência artificial, em tempo real, possibilita um ganho significativo na fluidez dos veículos e consequentemente na qualidade de vida daqueles que circulam nestas vias diariamente.

REFERENCES

- [1] HOEL, Lester A.; GARBER, Nicholas J.; SADEK, Adel W. Transportation infrastructure engineering: A multimodal integration. Cengage Learning, 2007.
- [2] DA SILVA PORTUGAL, Licínio. Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem. Interciência, 2005.
- [3] PIETRANTONIO H. Introdução à engenharia de tráfego. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- [4] GARTNER, Nathan H. OPAC: A demand-responsive strategy for traffic signal control. 1983.

- [5] SHELBY, Steven G. et al. An overview and performance evaluation of ACS Lite—a low cost adaptive signal control system. In: Transportation Research Board Annual Meeting. 2008. p. 130-137.
- [6] FEHON, Kevin et al. Model Systems Engineering Documents for Adaptive Signal Control Technology Systems-Guidance Document. 2012.
- [7] GARTNER, Nathan H.; TARNOFF, Philip J.; ANDREWS, Christine M. Evaluation of optimized policies for adaptive control strategy. Transportation Research Record, n. 1324, 1991.
- [8] GARTNER, Nathan H.; DESHPANDE, Rahul; ANNECY, France. Traffic Flow Characteristics in Coordinated Signal Systems. In: Summer 2010 Meeting of Traffic Flow Theory and Characteristics Committee (AHB45). 2010.