

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE MEDIÇÃO DO FLUXO DE SATURAÇÃO

José Reynaldo A. Setti

Departamento de Transportes

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

O artigo *Avaliação do Impacto do Tamanho da Amostra em Medições do Fluxo de Saturação* (Jacques, 1995) faz uma interessante discussão sobre os efeitos do tamanho da amostra na determinação do valor do fluxo de saturação. A autora aponta que os métodos mais comuns para a medição do fluxo de saturação não indicam qual o tamanho ideal da amostra, limitando-se a dizer que a amostra deve conter um número razoável de ciclos. Em seu artigo, Jacques discute o tamanho mínimo da amostra através de uma abordagem estatística, usando o erro relativo da estimativa admissível, o nível de significância e o coeficiente de variação para calcular o tamanho mínimo da amostra em três interseções da região urbana de Florianópolis. Os resultados mostrados no artigo indicam que o tamanho da amostra é muito sensível ao coeficiente de variação (a razão entre o desvio padrão e a média): quanto maior o coeficiente de variação, maior será a amostra necessária para se obter o erro relativo e o nível de significância desejados.

A publicação do trabalho de Jacques cria oportunidade para discutir um ponto interessante a respeito das medições do fluxo de saturação: os métodos para medição do fluxo de saturação. As estimativas do fluxo de saturação usadas por Jacques (1995) foram obtidas por três métodos diferentes: o método da Road Note 34, o método do ARR 123 e o método do HCM. Esses métodos e suas variações são amplamente usados e foram consagrados pela prática da engenharia de tráfego. Deve-se ter em mente, no entanto, que esses métodos foram desenvolvidos quando os equipamentos disponíveis para coleta de dados de campo se resumiam a pranchetas, cronômetros e contadores mecânicos, numa época em que um gravador portátil de som era

considerado uma inovação tecnológica. A título de curiosidade, Helm (1962) coletava dados para a medição do fluxo de saturação usando uma máquina de escrever adaptada em cujo rolo, alimentado continuamente, eram datilografados os códigos correspondentes a cada veículo. Como a velocidade de alimentação do papel era conhecida, podia-se estimar os instantes de passagem de cada veículo.

Os métodos da Road Note 34, do ARR Report 123 e do HCM foram criados com o propósito de fornecer a melhor estimativa possível do fluxo de saturação, com a tecnologia então disponível para a coleta de dados, e ainda são usados com eficiência e sucesso. Com a popularização dos equipamentos de vídeo e dos microcomputadores, pode-se discutir se a aplicação de um destes três métodos seria a forma mais conveniente de estimar o fluxo de saturação, principalmente nos casos onde a interseção pode ser filmada. Como uma interseção semaforizada não passa de um sistema de filas, é possível usar um método simples que permita a determinação da taxa máxima de atendimento no sistema, o fluxo de saturação, baseando-se na observação de um vídeo do cruzamento.

O método da curva acumulada de veículos, proposto por Shanteau (1988), é um método de aplicação mais fácil que qualquer um dos três métodos tradicionais, se for possível filmar a passagem de veículos pela interseção. Este método usa uma curva acumulada que permite obter os tempos perdidos no início e no final do ciclo, o fluxo de saturação (a declividade da curva), bem como o número médio de veículos "atendidos" em cada ciclo. Este método pode ser aplicado tanto a ciclos saturados como a ciclos não saturados, desde que se tenha em mente que o fluxo de saturação - o maior fluxo de veículos que pode ser escoado pela aproximação - é atingido quando a derivada da curva acumulada de veículos é máxima. Deve-se ressaltar que, quando não se dispõe de ciclos saturados, não é possível fazer a determinação do tempo perdido no final do ciclo.

A principal vantagem do método proposto por Shanteau sobre os três métodos mais comuns é a facilidade com que se determina o fluxo de saturação, pois é mais fácil determinar a inclinação de uma reta do que encontrar qual a "altura do retângulo que corresponde ao fluxo médio de saturação" conforme proposto originalmente por Webster. A aplicação do método da curva acumulada requer, no entanto, equipamento mais caro (uma "camcorder") e técnicos treinados no seu uso.

Por outro lado, sendo o Brasil um país de contrastes, não se pode esperar que os municípios disponham de equipamento de vídeo para a medição do fluxo de saturação. Por isto, um método ainda mais simples que os três métodos usados pela autora seria interessante para uma avaliação expedita, porém confiável, do fluxo de saturação. Para os que preferem os métodos "low-tech", existe um método desenvolvido pela USP - São Carlos que requer apenas um único pesquisador equipado com cronômetro e uma prancheta (Machado Neto e Setti, 1993). Este método, assim como o método do HCM, não permite a determinação dos tempos perdidos, mas é capaz de fornecer uma estimativa confiável do fluxo de saturação se o número de ciclos observados for suficientemente grande - mais acuradas que as obtidas usando-se o produto $525 \cdot \text{largura da via}$ (Webster e Cobbe, 1966).

O pesquisador deve inicialmente determinar, com o auxílio do cronômetro, o tempo de ciclo e o tempo de cada fase. Uma segunda etapa do processo consiste em determinar qual o tempo realmente utilizado para descarga da fila nos ciclos saturados. Normalmente, pode-se supor que o tempo de descarga da fila inicia-se no instante em que o primeiro veículo da fila começa a se mover e termina quando o último veículo da fila (num ciclo saturado) passa pela faixa de retenção. Em São Carlos, observou-se que a grande maioria dos motoristas usava a fase amarela para atravessar a interseção durante os ciclos saturados e que o tempo perdido no início do ciclo era muito pequeno. Neste caso, o tempo efetivo para descarga da fila foi suposto como a soma dos tempos de verde e amarelo.

O método consiste em observar apenas os ciclos saturados - aqueles onde a fila não se dissipa totalmente ao fim do verde. A cada ciclo saturado onde não existam ocorrências que possam afetar o fluxo de saturação, o pesquisador anota o número de veículos que passa pela interseção no período de descarga da fila. Após um número razoável de ciclos saturados, calcula-se o número médio de veículos que são atendidos durante o período de descarga da fila e, a partir daí, o headway médio de descarga, cujo inverso é uma estimativa do fluxo de saturação:

$$s = 3600 \frac{n_m}{t_d} \text{ [veic/h]} \quad (1)$$

onde s é o fluxo de saturação (em veic/hora de verde); n_m é o número médio de veículos que são atendidos a cada período de descarga da fila; e t_d é o tempo médio de descarga da fila (em segundos). Ainda que fora do escopo

desta discussão, vale acrescentar que este método pode ser usado para determinar os coeficientes de equivalência veicular. O leitor interessado deve consultar Machado Neto e Setti (1993) para maiores detalhes.

Deve-se ressaltar que este método expedito de determinação do fluxo de saturação é baseado no número médio de veículos que são atendidos a cada ciclo e usa um "headway" médio para estimar o fluxo de saturação. Como este "headway" médio inclui o "headway" dos primeiros veículos na fila (que costumam ser maiores que o "headway" mínimo), a estimativa do fluxo de saturação obtida por este método é sempre menor que o fluxo de saturação. Os resultados obtidos em medições realizadas em São Carlos indicam que esta diferença é menos significativa que a diferença existente entre o fluxo de saturação medido no local e o fluxo de saturação estimado usando-se a fórmula proposta por Webster e Cobbe (1966), que usa o produto entre a largura da faixa e uma constante (525, no caso) para estimar o fluxo de saturação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Helm, B. (1962). Saturation flow of traffic at light-controlled intersections. *Traffic Engineering*, vol. 32, no. 2, pp. 22-27.
- Jacques, M.A.P. (1995). Avaliação do impacto do tamanho da amostra em medições do fluxo de saturação: um estudo de caso. *Transportes*, vol. 3, no. 2, pp. 96-107.
- Machado Neto, E.F. e J.R.A. Setti (1993). Fatores de equivalência veicular em interseções semaforizadas de cidades de porte médio. In: *Anais do VII Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes*, ANPET, São Paulo, vol. 2, pp. 821-830.
- Shanteau, R.M. (1988). Using cumulative curves to measure saturation flow and lost time. *ITE Journal*, vol. 58, no. 10, pp. 27-31.
- Webster, F.V. e B.M. Cobbe (1966). *Traffic Signals*. Ministry of Transport, Road Research Technical Paper 56, London.