

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO TAMANHO DA AMOSTRA EM MEDIÇÕES DO FLUXO DE SATURAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO

Maria Alice Prudêncio Jacques

Mestrado em Transportes Urbanos

Departamento de Engenharia Civil

Universidade de Brasília

RESUMO

Este artigo faz uma análise dos efeitos da seleção do tamanho da amostra em estudos voltados à medição do fluxo de saturação em interseções semaforizadas. Os métodos atualmente mais usados para a medição do fluxo de saturação apenas indicam (quando o fazem) o número recomendado de ciclos a serem observados, sem tecerem quaisquer comentários sobre a razão da escolha deste número e as conseqüências sobre os valores medidos quando o mesmo não é observado. No presente trabalho, através de um estudo de caso, esta avaliação é procedida, permitindo aos futuros usuários dos métodos considerados terem uma noção do impacto de diferentes tamanhos de amostra sobre os erros da estimativa, para diferentes níveis de significância.

ABSTRACT

This paper analyses the effects of the sample size definition on the measured values of prevailing saturation flow rates at signalized intersection approaches. The most currently adopted methods for measuring saturation flow rates only indicate (when do it) the recommended number of cycles to be considered, without stating both the impacts of this number on the measured saturation flow values and the consequences of using different sample sizes. In the present work this evaluation is done based on case studies, and it intends to give the future users of the considered methods a clear perception of the impacts caused by sample sizes on the standard error of estimate at a given site for specific levels of significance.

1. Introdução

A determinação do fluxo de saturação em cada aproximação de interseções controladas por semáforos, isto é, do número máximo de veículos que poderia passar através de uma aproximação se o sinal verde estivesse disponível durante uma hora completa, é imprescindível, tanto para a adequação da operação dos semáforos às condições do tráfego nas interseções quanto para a avaliação da performance das mesmas [Branston, 1979; Akcelik, 1981; Stokes, 1989].

Esta determinação, sempre que possível, deve ser feita através de medições "in loco". Existem alguns métodos já consagrados para esta prática, e todos eles permitem a determinação do fluxo de saturação a partir da observação de um certo número de ciclos, preferencialmente saturados. Dentre estes métodos mais utilizados, pode-se citar o definido na Road Note 34 [Road Research Laboratory, 1963], o indicado no Research Report ARR N° 123 [Akcelik, 1981], e o proposto no Highway Capacity Manual - HCM [Transportation Research Board, 1985].

Estes métodos foram selecionados para utilização neste trabalho devido ao fato de já terem sido amplamente aplicados e testados, o que faz com que os resultados por eles produzidos sejam aceitos pela comunidade técnico-científica. O método da Road Note 34, por exemplo, é bastante utilizado na Inglaterra [ver Kimber et al., 1986] e em outros países [Figueiredo Pereira, 1990; Ribeiro, 1992]. O Manual de Semáforos, elaborado pelo Departamento Nacional de Trânsito [DENATRAN, 1984], também preconiza método derivado da Road Note 34, recomendando que a contagem dos veículos que passam pela aproximação seja procedida de 5 (cinco) em 5 (cinco) segundos e que sejam feitas pelo menos 5 (cinco) medidas de contagens de veículos nas aproximações para se obter um histograma de tráfego significativo. A Companhia de Engenharia de Tráfego [Vasconcelos, 1982] propõe procedimento análogo, recomendando que, para se obter valores médios significativos para o fluxo de saturação, deve-se efetuar as observações por 10, 15 ou 20 ciclos. Finalizando, o método do HCM é amplamente utilizado nos Estados Unidos [Arnold Jr. e McGhee, 1995], enquanto que o método apresentado na ARR N° 123 tem seu uso indicado pela Companhia de Engenharia de Tráfego [Vasconcelos, 1982].

No que se refere à definição do número de ciclos a ser observado na determinação do fluxo de saturação de um dado local, em um

determinado período do dia, os métodos acima mencionados são bastante deficientes. O método apresentado no HCM não faz qualquer menção a este respeito, e o seu formulário para a coleta de dados apresenta campos para a observação de apenas seis ciclos, o que pode induzir o usuário a considerar este número como o número de observações a ser feito para cada local e período do dia.

No método apresentado na ARR N° 123 é recomendado que as contagens devem ser repetidas por um certo número de ciclos, dos quais um número razoável deve ser completamente saturado. No exemplo apresentado na ARR N° 123, foram observados 30 ciclos, dos quais 15 eram saturados.

O método definido na Road Note 34 reconhece que o fluxo de saturação varia de acordo com o período do dia (pico, fora-de-pico) e, por isso, sugere que as observações destinadas a verificar o fluxo de saturação sejam feitas em diferentes períodos e que, em cada ocasião, devem cobrir pelo menos 30 ciclos, dos quais um número suficiente seja completamente saturado. Em um trabalho realizado na Inglaterra, em que este método foi adotado [Kimber, McDonald e Hounsell, 1986], chegou-se a conclusão de que em todos os locais observados a relação entre o desvio padrão e a média dos valores do fluxo de saturação ficou na ordem de 30 % (trinta por cento). Devido ao nível de precisão que o estudo desejava, foram feitas em torno de 350 contagens para cada local.

Assim sendo, esta questão da definição do tamanho da amostra a ser utilizada para a determinação do fluxo de saturação em uma dada aproximação, e, em decorrência, dos impactos dos diferentes tamanhos de amostra sobre a precisão da estimativa, é investigada neste trabalho, com base nos resultados da aplicação dos métodos supra citados em três aproximações de interseções semaforizadas, localizadas na cidade de Florianópolis-SC.

2- Aplicação dos Métodos

2.1- Considerações iniciais

O fluxo de saturação em aproximações de interseções controladas por semáforos depende de vários fatores, dentre os quais pode-se citar [Stokes, 1989]:

- *fatores geométricos* (largura da aproximação e de suas faixas de trânsito, número de faixas de trânsito, greide, raio de curvatura, etc.);
- *condições operacionais* (sequência de fases e tempos dos semáforos, localização de paradas de ônibus, atividades de estacionamentos, etc.);
- *características do tráfego* (composição do tráfego, movimentos de conversão, atividades de pedestres, etc.);
- *fatores ambientais e outros* (condições do tempo, condições do pavimento, comportamento dos motoristas, etc.).

Estes fatores dizem respeito, diretamente, às diferenças observadas nos valores dos fluxos de saturação em diferentes aproximações e/ou faixas de trânsito. Para uma mesma faixa de trânsito, no entanto, o fluxo de saturação varia de ciclo para ciclo e esta variabilidade deve ser considerada nas medições do fluxo de saturação “in loco”. Neste sentido, deve-se reconhecer, inicialmente, quais os fatores que mais influem na variação do fluxo de saturação de ciclo para ciclo. Dos fatores anteriormente mencionados, para uma dada faixa de trânsito em um determinado período do dia, pode-se reconhecer que as condições operacionais e as características do tráfego são os fatores que, podendo variar de ciclo para ciclo, levam à variabilidade observada no fluxo de saturação.

Assim sendo, dado que o objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação do impacto do tamanho da amostra utilizada na precisão do valor do fluxo de saturação medido “in loco”, selecionou-se algumas interseções cujas características operacionais e do tráfego são comumente encontradas na cidade de Florianópolis. Cumpre salientar que não faz parte do escopo deste trabalho fazer generalizações destes impactos a nível de cidade, mas sim mostrar que eles existem, são relevantes e, portanto, não podem ser ignorados. Por esta razão, foram selecionados somente três interseções, onde uma ou mais condições de interesse se apresentavam.

2.2-Aproximações estudadas

Foram selecionadas três aproximações para a medição do fluxo de saturação, uma em cada uma das seguintes interseções:

- ♦ Cruzamento da Av. Mauro Ramos com a Rua Vitor Konder;
- ♦ Cruzamento da Av. Rio Branco com as Avenidas Othon Gama D'Eça e Osmar Cunha;
- ♦ Cruzamento da Av. Hercílio Luz com a Rua José da Costa Moellman.
- ♦ Cruzamento da Av. Mauro Ramos com a Rua Vitor Konder

Esta interseção é controlada por um semáforo operando em três fases, com ciclo de 103 segundos de duração, sendo que para a aproximação estudada o tempo de verde é igual a 37 segundos e o amarelo a 5 segundos.

A aproximação estudada é a situada na Av. Mauro Ramos, com tráfego no sentido do centro para a Av. Beira-Mar Norte. Esta aproximação possui duas faixas de trânsito: uma para movimentos em frente e conversões à esquerda (faixa junto ao canteiro central), e a outra para movimentos em frente e conversões à direita (faixa junto ao meio-fio).

- ♦ *Cruzamento da Av. Rio Branco com as Avenidas Othon Gama D'Eça e Osmar Cunha*

O semáforo que controla esta interseção opera com três fases, sendo uma delas exclusiva para pedestres, em um ciclo com 101 segundos de duração, apresentando para a aproximação estudada um tempo de verde de 37 segundos e amarelo igual a 5 segundos.

A aproximação estudada é a situada na Av. Othon Gama D'Eça (sentido Beira-Mar Norte para o centro). Esta aproximação possui duas faixas de trânsito: uma somente para movimentos em frente (faixa situada junto ao centro da via), e outra para movimento em frente e conversões à direita. A descarga normal do tráfego nesta última faixa é algumas vezes comprometida devido à presença de veículos estacionados próximo à interseção, muito embora exista sinalização de trânsito proibindo o estacionamento numa distância de 30 metros contados a partir da linha de parada.

- ♦ *Cruzamento da Av. Hercílio Luz com a Rua José da Costa Moellman*

Esta interseção é controlada por um semáforo que opera com quatro fases, num ciclo com 66 segundos de duração. Para a aproximação selecionada o tempo de verde é de 14 segundos e o amarelo igual a 4 segundos.

Foi selecionada para análise a aproximação situada na Rua José da Costa Moellman, que é uma via de mão única. Esta aproximação possui três faixas de trânsito: uma faixa situada junto ao prédio do Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina, daqui por diante referida como faixa lateral 1, uma faixa central, e outra faixa lateral, a ser referida como faixa lateral 2.

A faixa lateral 1 é utilizada para movimentos em frente e conversões à direita, enquanto que as outras duas faixas são utilizadas somente para movimentos em frente. A faixa central possui um intenso movimento de ônibus, o que impede a observação simultânea do fluxo de saturação nas três faixas.

Devido às características da faixa lateral 1, tipos de movimentos e intensidade do tráfego, optou-se neste estudo pela medição do fluxo de saturação nesta faixa e na faixa central, ficando a faixa lateral 2 excluída do trabalho.

2.3-Resultados obtidos

De modo a ter resultados comparáveis entre si para os diferentes métodos, os processos de descarga do tráfego nestas aproximações foram filmados, e a aplicação dos métodos deu-se através da utilização das imagens gravadas.

Tendo em vista o objetivo do presente estudo, as principais características e formulações dos referidos métodos não serão apresentadas aqui. O leitor interessado poderá obter detalhes dos mesmos nas respectivas referências bibliográficas.

Dentre os métodos considerados, somente o do HCM determina o fluxo de saturação por ciclo observado, sendo o fluxo de saturação da faixa de trânsito no período, definido como o fluxo médio de todos os ciclos observados. Nas demais metodologias, as observações por ciclo são agregadas por intervalo de observação, sendo o fluxo de saturação no período determinado diretamente a partir destes valores agregados. Aplicando-se estas metodologias a cada um dos ciclos, determinando o fluxo de saturação por ciclo e, depois, calculando-se a média dos valores determinados para cada ciclo, chega-se a valores ligeiramente diferentes, devido aos diferentes pesos que os intervalos recebem ao se adotar um ou outro critério, mormente quando o número

de intervalos varia de um ciclo para outro. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o fluxo de saturação, em veículos por hora de tempo verde, obtidos através dos dois critérios. A Análise de Variância efetuada para a comparação entre os valores fornecidos pelos diferentes métodos, para cada uma das faixas de trânsito consideradas, revelou que, para o nível de significância de 5% (cinco por cento), não há evidência de que exista diferença significativa entre os métodos estudados [Jacques, Anastácio e Felisari, 1994].

3- Tamanho das Amostras

Os resultados apresentados na Tabela 1 podem ser utilizados para se ter uma idéia do tamanho recomendado da amostra (número de ciclos a serem observados) em cada faixa de trânsito a ser estudada.

O tamanho da amostra depende, basicamente:

- ♦ do nível de significância que se pretenda (α);
- ♦ do erro relativo da estimativa admissível (E_r);
- ♦ do coeficiente de variação (CV), definido como a razão entre o desvio padrão e a média.

O tamanho da amostra (n) pode ser determinado pela relação:

$$n = z_{\alpha/2}^2 \times \frac{CV^2}{E_r^2} \quad 1$$

Como não conhecemos o desvio-padrão da população, devemos substituí-lo por sua estimativa e usar t de Student na expressão acima, sendo esta estimativa do desvio padrão obtida através de uma amostra-piloto de n' elementos. No presente estudo consideraremos como amostras-piloto as utilizadas para a determinação dos resultados mostrados na Tabela 1.

O tamanho da amostra será, então, determinado através da expressão:

$$n = t_{n'-1, \alpha/2}^2 \times \frac{CV^2}{E_r^2} \quad 2$$

onde n' é o número de elementos da amostra-piloto.

No caso de $n \leq n'$, pode-se concluir que a amostra-piloto é suficiente para a estimação. Caso contrário, deverão ser retirados da população os elementos necessários à obtenção dos n' elementos [Costa Neto, 1977]. É importante lembrar que quando a distribuição amostral das médias pode ser aproximada por uma normal e o desvio-padrão da amostra (S) é usado como um estimador do desvio-padrão da população (σ), a distribuição t de Student é aplicável para qualquer tamanho de amostra [Anderson et al., 1986]. A medida que o tamanho da amostra aumenta, a distribuição t se aproxima da normal padronizada e, assim, para grandes amostras ($n > 30$), os resultados fornecidos pelas expressões (1) e (2) são similares.

Assim, considerando-se o maior valor do CV para cada uma das faixas de trânsito observadas, pode-se determinar tamanhos de amostra a serem adotados na utilização do método correspondente ao valor selecionado de CV, em função de valores selecionados para α e E_r . As Tabelas 2 e 3 apresentam valores de tamanho da amostra (n) para diferentes valores de α e E_r , para cada uma das faixas de trânsito em questão. :

TABELA 1
ESTATÍSTICAS DOS VALORES DO FLUXO DE
SATURAÇÃO
(VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE)

Aproximação - fla	Road Note 34				ARR N. 123				HCM			
	A	B	DP	CV	A	B	DP	CV	A	B	DP	CV
Av. Mauro Ramos - P. Central	1694	1694	179	0,106	1714	1714	180	0,105	-	1759	160	0,091
Av. Mauro Ramos - P. Lateral	1505	1505	209	0,139	1505	1505	225	0,150	-	1556	223	0,143
Av. Othon G. D'Eça-P. Central	1619	1625	224	0,138	1662	1670	247	0,148	-	1719	289	0,168
Av. Othon G. D'Eça-P. Lateral	1475	1487	181	0,122	1475	1469	280	0,191	-	1573	226	0,144
R. José Moellman - P. Central	1020	1020	389	0,381	1089	1103	594	0,539	-	1115	378	0,339
R. José Moellman - P. Lateral	1361	1361	425	0,312	1536	1573	519	0,330	-	1488	301	0,202

Notação: A - Valor original; B - Valor médio dos ciclos observados; DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação

TABELA 2
TAMANHOS DA AMOSTA (N), PARA A = 5%

APROXIMAÇÃO - FILA	TAMANHO DA AMOSTRA (n)				
	$E_r=2\%$	$E_r=3\%$	$E_r=5\%$	$E_r=8\%$	$E_r=10\%$
Av. Mauro Ramos - F. Central	115	51	19	8	5
Av. Mauro Ramos - F. Lateral	233	104	38	15	10
Av. Othon G. D'Eça-F. Central	293	130	47	19	12
Av. Othon G. D'Eça-F. Lateral	378	168	61	24	16
R. José C. Moellman-F. Central	2984	1326	477	187	120
R. José C. Moellman-F. Lateral	1119	498	179	70	45

TABELA 3
TAMANHOS DA AMOSTA (N),
PARA A = 10%

APROXIMAÇÃO - FILA	TAMANHO DA AMOSTRA (n)				
	$E_r=2\%$	$E_r=3\%$	$E_r=5\%$	$E_r=8\%$	$E_r=10\%$
Av. Mauro Ramos - F. Central	80	36	13	5	4
Av. Mauro Ramos - F. Lateral	162	72	26	11	7
Av. Othon G. D'Eça-F. Central	203	90	33	13	9
Av. Othon G. D'Eça-F. Lateral	262	117	42	17	11
R. José C. Moellman-F. Central	2070	920	332	130	83
R. José C. Moellman-F. Lateral	776	345	124	49	31

4-Análise dos Resultados

Os valores encontrados para os tamanhos das amostras (n) para diferentes valores do erro relativo admissível (E_r) e nível de significância (α), indicam a necessidade do pesquisador definir estes parâmetros

antes de tomar qualquer decisão a respeito do tamanho da amostra que deve utilizar no seu estudo. Fica evidente, também, a partir destes resultados, que a realização de estudos pilotos nas faixas de trânsito a serem estudadas é imprescindível quando se quer definir um plano de amostragem adequado, tendo em vista o método de medição do fluxo de saturação que se pretende adotar.

O estudo-piloto envolvendo as faixas de trânsito da Rua José da Costa Moellman indicou que faixas de trânsito com tempos de verde extremamente curtos (estas faixas recebem verde por 14 segundos, num ciclo com 66 segundos de duração) apresentam grande variabilidade nas observações, requerendo um número de observações muito alto. Isto sugere que a sua utilização para a realização de estudos de fluxo de saturação deve, sempre que possível, ser evitada.

Um outro ponto interessante diz respeito ao tamanho requerido para as amostras em diferentes faixas de trânsito de uma mesma aproximação. Os resultados obtidos confirmam o efeito das características diferenciadas do tráfego em cada faixa de trânsito (presença ou não de conversões, composição do tráfego, etc.), as quais têm reflexo direto no próprio valor composição do tráfego, etc.), as quais têm reflexo direto no próprio valor do fluxo de saturação.

Embora esteja fora do escopo deste trabalho fazer uma análise específica sobre o impacto das condições do ambiente, geométricas e do tráfego sobre o valor do fluxo de saturação, é possível observar, através da inspeção direta dos valores da Tabela 1, alguns destes impactos. Como todas as aproximações estudadas estão localizadas na área central da cidade, com usos do solo similares nas suas proximidades, e possuem características geométricas semelhantes, as diferenças encontradas nos valores do fluxo de saturação podem ser atribuídas, principalmente, às condições do tráfego, isto é, aos tipos de movimentos e composição da corrente. Assim, pode-se observar, por exemplo, que a faixa central da Av. Mauro Ramos e a da Av. Othon G. D'Eça, que atendem movimentos em frente e de conversão à esquerda protegido (caso da Av. Mauro Ramos), com baixa proporção de veículos pesados, têm valores do fluxo de saturação na mesma ordem de grandeza. Estes valores são muito superiores ao valor da faixa central da Rua José Moellman, onde o fluxo de ônibus é intenso, na ordem de 49%. Outra observação é que os fluxos das faixas centrais são superiores

aos das faixas laterais, exceção feita à aproximação da Rua José Moellman. No caso da Av. Mauro Ramos, isto deve-se, principalmente, à presença de ônibus na faixa lateral, na ordem de 9,5%, e na Av. Othon G. D'Eça ao efeito da presença de veículos estacionados próximo à interseção e das conversões à direita, que são em número bem maior do que o observado na Av. Mauro Ramos. A situação da Rua José Moellman é diferente, uma vez que, embora a sua faixa lateral seja utilizada predominantemente por veículos fazendo conversões à direita, o efeito negativo destas conversões sobre o fluxo de saturação é bem menor do que o da grande presença de ônibus na faixa central, fazendo com que o fluxo de saturação da faixa central seja inferior ao da faixa lateral.

No caso do presente estudo, foram feitas 35 observações para as faixas de trânsito das Av. Mauro Ramos e Othon Gama d'Eça e 40 para as da Rua José da Costa Moellman. Isolando-se E_r na expressão (2) pode-se verificar, para $\alpha=5\%$, que as estimativas do fluxo de saturação obtidas com os métodos que produziram os maiores valores de CV para estas faixas, apresentam erros relativos em torno de:

- 3,6%, para Mauro Ramos - Faixa Central;
- 5,2%, para Mauro Ramos - Faixa Lateral;
- 5,8%, para Gama D'Eça - Faixa Central;
- 6,6%, para Gama D'Eça - Faixa Lateral;
- 17,3%, para Costa Moellman - Faixa Central;
- 10,6%, para Costa Moellman - Faixa Lateral.

Para um nível de significância de 10%, os correspondentes erros relativos giram em torno de:

- 3,0% para Mauro Ramos - Faixa Central;
- 4,3%, para Mauro Ramos - Faixa Lateral;
- 4,8%, para Gama D'Eça - Faixa Central;
- 5,5%, para Gama D'Eça - Faixa Lateral;
- 14,4%, para Costa Moellman - Faixa Central;
- 8,8%, para Costa Moellman - Faixa Lateral.

5-Conclusões e Recomendações

Os resultados do presente trabalho permitiram uma avaliação da questão da definição do tamanho da amostra a ser utilizada em estudos

de medição do fluxo de saturação "in loco". Embora os métodos atualmente empregados para esta tarefa não trabalhem de forma adequada este aspecto do trabalho, pode-se verificar que ele é relevante e que precisa ser considerado com cuidado.

Cabe aos pesquisadores e/ou engenheiros de tráfego interessados em medir o fluxo de saturação definir, de acordo com os objetivos do seu trabalho, qual o erro da estimativa que consideram admissível e qual o nível de significância desejado.

Recomenda-se que, no caso de não se dispor a priori de informações sobre a variabilidade do fluxo de saturação no local a ser medido, que um estudo piloto seja realizado, com uma amostra do tamanho implicitamente sugerido na maioria dos métodos (em torno de trinta ciclos, dos quais uma grande porcentagem seja saturado).

Para estudos envolvendo a medição do fluxo de saturação em muitas aproximações, e não sendo possível a realização de um estudo piloto em todas elas, recomenda-se que sejam selecionadas para teste as aproximações que, em termos de geometria, volume e composição do tráfego, possam ser consideradas representativas de um grupo de aproximações a ser estudado. Assim, o tamanho da amostra definido para estas aproximações representativas pode ser adotado para todas as outras aproximações pertencentes ao grupo ao qual representam.

Não havendo possibilidade da realização do estudo-piloto, a análise efetuada na seção anterior deste trabalho deve ser efetuada, no sentido de se ter uma idéia do erro relativo da estimativa (definido pela razão entre a semi-amplitude do intervalo de confiança para a média e o valor da média) produzida pelo método de medição utilizado, decorrente do tamanho adotado para a amostra.

Conforme já foi referido anteriormente, para uma dada faixa de trânsito em um determinado período do dia, as condições operacionais e as características do tráfego são os fatores que, podendo variar de ciclo para ciclo, levam à variabilidade observada no fluxo de saturação. É importante, portanto, que os impactos destes fatores sejam claramente identificados e avaliados. Neste sentido, será dado prosseguimento à pesquisa apresentada neste artigo, uma vez que os resultados deste futuro trabalho serão especialmente úteis na definição do tamanho da amostra em situações onde não for possível a realização de estudo piloto.

6-Referências

- Akcelik, R. Traffic signals: capacity and timing analysis. Australia: Australian Road Research Board. Research Report ARR No. 123, 1981.
- Anderson, D. R. et al. Introduction to Statistics - Concepts and Applications. 2ª Edição. St. Paul: West Publishing Company, 1991.
- Arnold Jr., E e Mc Ghee, Catherine. A survey of capacity analysis practices in State Departments of Transportation. ITE Journal 65 (July): 28-33, 1995.
- Branston, D. Some factors affecting the capacity of signalized intersections. Traf. Eng. and Control (August/September): 390-96, 1979.
- Costa Neto, P. L. de Oliveira. Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- DENATRAN. Manual de Semáforos. Coleção Serviços de Engenharia, Departamento Nacional de Trânsito, Ministério da Justiça. Brasília: DENATRAN, 1984.
- Figueiredo Pereira, A.J. Portuguese experience with characterization of traffic in urban intersections with traffic signals. 22nd UTSG Annual Conference, Hatfield, 1990.
- Jacques, M. A. P., Elma R. Anastácio, e Sandra Felisari. "Avaliação dos Métodos Utilizados para a Medição do Fluxo de Saturação Através de um Estudo de Caso". In VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes: Anais do VIII ANPET, Vol. I, 21 a 25 de novembro de 1994, pela Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, p. 301 a 312. Recife: 1994.
- Kimber, R.M., M. McDonald, and N.B. Hounsell. The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals. Crowthorne: Department of Transport, Transport and Road Research Laboratory. Research Report 67, 1986.
- Ribeiro, P. C. Martins. Um método moderno para medir fluxo de saturação de interseções semaforizadas no Brasil. In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes: Anais do VI ANPET, Vol. I, 23 a 27 de novembro de 1992, pela Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1992.
- Road and Research Laboratory. A method of measuring saturation flow at traffic signals. Road Note 34. London, 1963.
- Stokes, R. W. Some factors affecting signalized intersection capacity. ITE Journal 59 (January): 35-40, 1989.
- Transportation Research Board. Highway capacity manual. Washington, D.C.: National Research Council, Transportation Research Board. Special Report 209, 1985.
- Vasconcelos, E. A. Pesquisa e Levantamentos de Tráfego. Boletim Técnico da CET Nº 31. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 1982.