

AVALIAÇÃO DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS UTILIZANDO SOFTWARE DE MICROSIMULAÇÃO: COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS UTILIZADAS

Frederico Rodrigues

Programa de Engenharia de Transportes
COPPE/UFRJ

RESUMO

Constantemente em estudos de tráfego urbano é necessário avaliar o nível de qualidade em que uma determinada interseção opera, isto é, quão ociosa ou quão saturada um determinado cruzamento está e quais são as conseqüências disto no que se refere a atraso médio, grau de saturação, filas entre outros. Tradicionalmente tem-se aplicado a metodologia do Highway Capacity manual (TRB, 2000). Todavia, esta metodologia classifica a interseção em níveis de serviço apenas em função do atraso médio por veículo. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo comparar a metodologia do HCM 2000 para interseções com a metodologia “Intersection Capacity Utilization” (HUSCH & ALBECK, 2003). Tal metodologia baseia-se na avaliação da reserva de capacidade existente em uma determinada interseção ou de qual saturada esta se apresenta. Para tal avaliação será utilizado o software de microsimulação Synchro/SimTraffic e espera-se com este trabalho fornecer um referencial sobre a adequabilidade das duas metodologias em avaliação de qualidade de operação de interseções em centros urbanos.

ABSTRACT

Constantly in studies of urban traffic it is necessary to evaluate the quality of service of intersection. Traditionally the methodology of the Highway Capacity Manual has been applied (TRB, 2000). However, this methodology classifies the intersection in platforms of levels of service only in function of the average delay for vehicle. In this context, the present work has for objective to compare the methodology of HCM 2000 for intersections with the methodology “Intersection Capacity Utilization” (HUSCH & ALBECK, 2003). Such methodology is based on the evaluation of the reserve of existing capacity in one determined intersection. For such evaluation the software of microsimulação Synchro/SimTraffic will be used and expects with this work to supply a referencial on the adequateness of the two methodologies in evaluation of quality of operation of intersections in urban centers.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da operação de interseções semaforizadas em centros urbanos é função de diversos parâmetros, a saber: características geométricas da interseção, declividade, programação semaforica, largura e número de faixas, velocidade média dos veículos, classificação da frota, etc. Neste contexto, a modelagem com o intuito de simplificar a avaliação de interseções em vias urbanas é um procedimento rotineiro e bastante usual, devido a significativa demanda de se quantificar quão ocioso ou quão saturado determinado cruzamento entre vias está.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo utilizar um software de microsimulação para comparar duas metodologias de avaliação de interseções.

2. METODOLOGIA HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM)

Durante muito tempo utilizou-se a metodologia proposta pelo Highway Capacity Manual (1994), que relacionava o grau de saturação de uma via com o nível de qualidade em que esta operava, através da classificação em níveis de serviço, conforme mostrado a seguir:

- $GS \leq 80\%$, correspondendo aos níveis A, B, C e D, indica que a aproximação viária não apresenta problemas operacionais;
- $80\% < GS < 100\%$, correspondendo ao nível E, indica que a aproximação está operando próximo ou no limite da capacidade de tráfego;
- $GS = 100\%$ (ou superior), nível F, indica estado de saturação, onde a demanda é superior à capacidade viária, causando excessivas filas de veículos e atrasos.

Todavia, as recentes pesquisas, realizadas por diversos órgãos e/ou academias em todo mundo, na área de engenharia de tráfego, têm revelado alguns parâmetros cuja eficiência e precisão têm mudado as tradicionais formas de se avaliar interseções.

Um exemplo disto é a revisão feita pelo Highway Capacity Manual (TRB, 2000) que a partir de então passou a classificar os níveis de serviço de interseções em função do atraso médio por veículo, segregando os seguintes patamares:

- Nível de Serviço A: menor que 10 seg./veículos;
- Nível de Serviço B: entre 10 e 20 seg./veículos;
- Nível de Serviço C: entre 20 e 35 seg./veículos;
- Nível de Serviço D: entre 35 e 55 seg./veículos;
- Nível de Serviço E: entre 55 e 80 seg./veículos;
- Nível de Serviço F: maior que 80 seg./veículos;

Este atraso médio possui complexa metodologia de cálculo que envolve uma série de variáveis independentes e procedimentos como, por exemplo, pesquisa de perfil de ciclo. Neste contexto, a obtenção da variável dependente Atraso médio por Veículo, se torna relativamente difícil e, de certa forma, inviável de ser obtida em determinadas demandas de avaliação da qualidade de operação de interseções semaforizadas.

Neste momento se torna muito útil a utilização de ferramentas computacionais capazes de simular, através de complexas modelagens, o funcionamento de uma interseção semaforizadas. São os chamados softwares de microssimulação de tráfego.

No presente trabalho utilizou-se o software Synchro/SimTraffic (TRAFFICWARE, 2005), cujo relatório de avaliação da interseção fornece, entre outros parâmetros, o nível de serviço em função do atraso médio por veículo, segundo a metodologia HCM (2000).

3. METODOLOGIA ICU

O software Synchro/SimTraffic fornece ainda um outro parâmetro sobre a operação da interseção, é o chamado *ICU*, *Intersection Capacity utilization*.

O método é bastante similar à tradicional relação entre “volume hora-pico (VHP)” e “fluxo de saturação (v/c)”, considerada na metodologia do HCM (1994), todavia leva em consideração a soma do tempo necessário para atender a todos os movimentos em uma interseção, caso esta fosse semaforizada com um tempo de ciclo padrão, dividido pelo tempo total disponível. Uma vantagem do método é o fato deste considerar também o tempo destinado aos pedestres.

A cada patamar de utilização da capacidade da interseção é assumido um cenário para a mesma, um Nível de Serviço, conforme apresentado a seguir (HUSCH & ALBECK, 2003). Salienta-se que não deve ser confundido o Nível de Serviço padrão HCM (TRB, 2000) com o Nível de Serviço (ICU). O primeiro leva em consideração o atraso médio por veículo, enquanto o outro considera a reserva de capacidade ou deficiência da interseção.

- A: ICU até 55% - não há congestionamento na interseção. Ciclos menores que 80 segundos são capazes de operar o tráfego eficientemente. Todo tráfego é atendido no primeiro ciclo. Flutuações de tráfego, acidentes e obstrução de faixas causaram mínimos congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 30% a mais de tráfego em todos os movimentos;
- B: ICU entre 55% e 64% - não há congestionamento na interseção. Quase todo o tráfego será atendido no primeiro ciclo. Ciclos de 90 segundos ou menos são capazes de operar o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e obstruções da pista causarão mínimos congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 30% a mais de tráfego em todos os movimentos;
- C: ICU entre 64% e 73% - A interseção ainda não tem congestionamentos significativos. A maior parte do tráfego deve ser atendida no primeiro ciclo. Ciclos de 100 segundos ou menos operarão o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e fechamentos de faixas pista podem causar congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 20% a mais de tráfego em todos os movimentos.
- D: ICU entre 73% e 82% - A interseção ainda não tem congestionamentos significativos. A maior parte do tráfego deve ser atendida no primeiro ciclo. Ciclos de 110 segundos ou menos operarão o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e fechamentos de faixas pista podem causar congestionamentos significativos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 10% a mais de tráfego em todos os movimentos.
- E: ICU entre 82% e 91% - A interseção está no limiar das condições de congestionamento. Muitos veículos não são atendidos no primeiro ciclo. Um ciclo de 120 segundos é requerido para operar eficientemente todo o tráfego. Flutuações de tráfego, acidentes, e pequenas obstruções de faixas pista podem causar congestionamentos significativos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos significativos. Esta interseção tem menos de 10% de capacidade de reserva disponível.
- F: ICU entre 91% e 100% - A interseção está operando o limiar da capacidade e provavelmente há congestionamentos com duração de 15 a 60 minutos. As filas residuais no fim do tempo de verde são comuns. Um ciclo de 120 segundos é requerido para operar todo o tráfego. Pequenas flutuações do tráfego, acidentes, e fechamentos menores da pista podem causar significativos congestionamentos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos significativos.
- G: ICU entre 100% e 109% - A interseção é operada com sua capacidade excedida de 10% a 20% e terá, provavelmente, de congestionamentos com duração de 60 a 120 minutos. Filas longas são comuns. Um ciclo de 120 segundos ou mais é requerido para operar todo o tráfego. Os motoristas podem optar por rotas

alternas, se existirem. Uma programação semafórica atuada pelo tráfego pode contribuir com a priorização de certos movimentos.

- H: ICU maior que 109% - A interseção está com capacidade excedente de 20% e pode ter períodos de congestionamentos com duração maior que 120 minutos. Filas longas são comuns. Um ciclo de 120 segundos ou mais é requerido para operar todo o tráfego. Os motoristas podem escolher rotas alternas, se existirem. Uma programação semafórica atuada pelo tráfego pode contribuir com a priorização de certos movimentos.

A metodologia foi proposta inicialmente em 1974 por Robert Crommelin em um artigo denominado “*Employing Intersection Capacity Utilization Values to Estimate Overall Level of Service*”(Apud HUSCH & ALBECK, 2003).

Após uma revisão da metodologia, realizada em 2000 adotaram-se o fluxo de saturação, tempo perdido e ajustes de volume iguais ao do HCM 1997. Além disso, passou a ser considerado na modelagem, conversões à esquerda e faixas compartilhadas de conversão à esquerda, tempo requerido para pedestres e sua interferência. Também passou a ser considerado o funcionamento de conversão à direita (direita livre, faixa compartilhada, etc).

Algumas premissas da concepção da metodologia devem ser destacadas, conforme listadas a seguir (HUSCH & ALBECK, 2003):

- O ICU não prediz atraso, mas pode predizer quão freqüente a interseção terá congestionamentos;
- O ICU pode ser utilizado para interseções não semaforizadas para determinar a utilização da capacidade, caso esta fosse semaforizada;
- O ICU não foi desenvolvido para operação e planejamento de tempo de ciclos de semáforo;
- O ICU, com a revisão feita em 2003, tornou-se compatível com a metodologia do HCM (TRB, 2000) e pode ser usado em conjunto com este. Parâmetros como fluxo de saturação, por exemplo, são os mesmos nas duas metodologias;
- O inverso do ICU apresenta o acréscimo de tráfego necessário para ser atingida a saturação da interseção;
- O ICU 2003 requer o uso de um tempo de ciclo padrão, fixo, usualmente 120 segundos. O uso deste valor não implica na obrigatoriedade de que a interseção opere com este ciclo.
- O ICU deve ser usado para medir capacidade, não para operação ou planejamento de programação semafórica;

A Tabela 1 apresenta uma breve comparação entre a metodologia HCM (2000) e ICU (2003), no que se refere, principalmente, a parâmetros considerados e aplicação (HUSCH & ALBECK, 2003):

Tabela 1 – Parâmetros e aplicações das metodologias HCM e ICU

	ICU (2003)	HCM (2000)
Parâmetros	Volume sobre capacidade	Atraso
Aplicação	Planejamento, Estudos de Impacto, Dimensionamento de rodovias	Operação e planejamento de tempos de semáforo

Uma vantagem da metodologia, e que pode ser de extrema relevância em avaliações de Impacto na Circulação, proveniente da implantação em centros urbanos de Pólos Geradores de Tráfego (PGT's), é o fato desta discriminar, em cada patamar do Nível de Serviço, qual o percentual de tráfego a mais que a interseção pode receber sem apresentar problemas. Tal parâmetro pode ser diretamente confrontado com a demanda de tráfego gerada pelo empreendimento em questão.

4. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Para simular a qualidade de uma determinada interseção pelas duas metodologias descritas criou-se no software de microssimulação uma interseção simples com uma faixa de tráfego por sentido conforme pode ser visto na Figura 1.

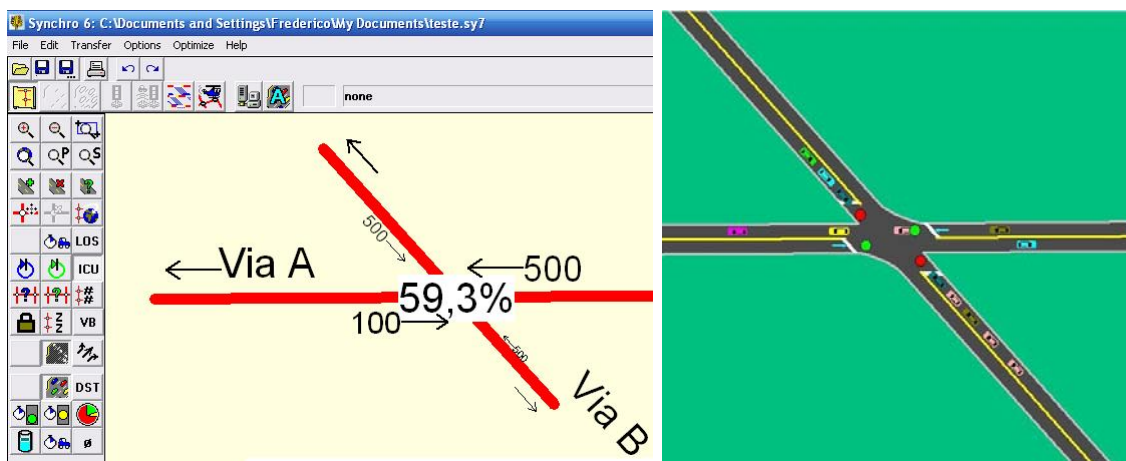


Figura 1 – Ilustração da interseção construída no software de microssimulação

Para avaliar a resposta das duas metodologias em diversas situações variaram-se inicialmente os volumes de tráfego em patamares de 200 veículos com 2% de veículos pesados em todas as composições.

Para esta interseção, foram realizadas simulações com tempo de ciclo de semáforo fixo e otimizado pelo software para cada composição volumétrica.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta na primeira e segunda coluna os dados de entrada no programa, volume e tempo de ciclo na interseção. As colunas seguintes fazem parte do relatório do software, a saber: percentual de utilização da interseção e o nível de serviço associado (ICU), atraso médio por veículo e o nível de serviço associado (HCM).

A Tabela 3 apresenta os mesmos parâmetros, todavia o dado de entrada “Tempo de Ciclo” foi otimizado pelo software em função da variação de volume de veículos na interseção.

Tabela 2 – Dados de entrada e saída do software para tempo de ciclo constante

Ciclo Fixo					
Volume	TC	ICU (%)	ICU	Atraso HCM (s/veic.)	NS HCM
200	40	28,8	A	8,4	A
400	40	39,6	A	9,8	A
600	40	50,4	A	13,9	B
800	40	61,2	B	49,7	D
1000	40	72	C	399	F
1200	40	82,8	E	830	F
1400	40	93,6	F	1279,4	F
1600	40	104,4	G	1739,1	F

Tabela 3 – Dados de entrada e saída do software para tempo de ciclo otimizado

Ciclo Otimizado					
Volume	TC	ICU (%)	NS ICU	Atraso HCM (s/veic.)	NS HCM
200	40	28,8	A	8,4	A
400	40	39,6	A	9,8	A
600	55	50,4	A	11,5	B
800	70	61,2	B	13,1	B
1000	80	72	C	15,2	B
1200	110	82,8	E	20,5	C
1400	140	93,6	F	31,9	C
1600	150	104,4	G	103,7	F

Os gráficos a seguir, que foram construídos a partir dos valores apresentados na Tabela 2, permitem uma melhor compreensão das variações sofridas nos parâmetros de mensuração da qualidade de funcionamento da interseção em função da variação do volume de tráfego.

Pela Figura 2 percebe-se que a variação do ICU ocorre linearmente com o aumento do fluxo de veículos na interseção.

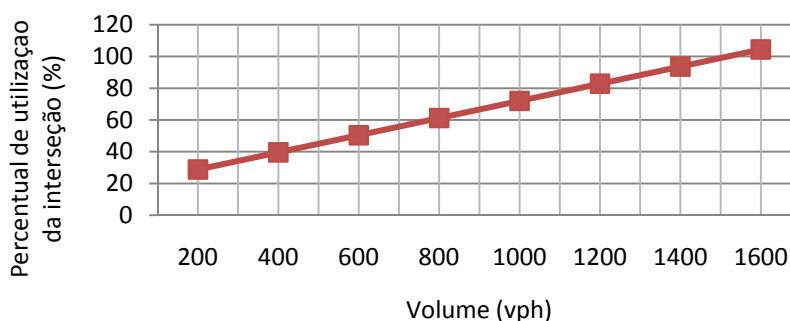


Figura 2- Variação do ICU x Variação de volume de tráfego

Já a Figura 3 mostra que o atraso médio por veículo na interseção possui um ponto de inflexão no patamar de 800 vph, a partir do qual, o atraso médio aumenta muito para o mesmo incremento de volume.

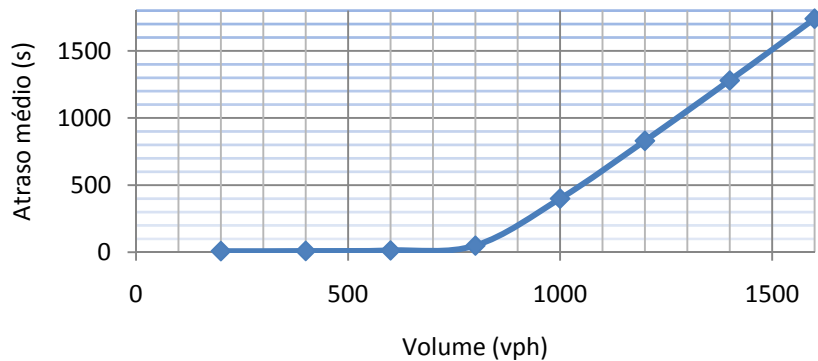


Figura 3 – Variação do atraso médio por veículo x Variação de volume de tráfego

Avaliando os dois gráficos, percebe-se que existe um limiar, a partir do qual, segundo a metodologia HCM (TRB, 2000), a interseção, para um dado tempo de ciclo constante, operará com baixos níveis de serviço, enquanto a metodologia ICU mostra que a interseção ainda pode operar com satisfatórios níveis de serviço.

Já os gráficos construídos a partir da Tabela 3, mostrados na Figura 4, mostram que com a otimização da programação semafórica, o aumento do atraso médio por veículo diminui significativamente em função do aumento do volume veicular. Além disso, o patamar a partir do qual o aumento do atraso médio se torna muito sensível em função do aumento do volume veicular também aumentou para cerca de 1400 vph. Desta forma existe uma maior coerência entre os resultados das duas metodologias.

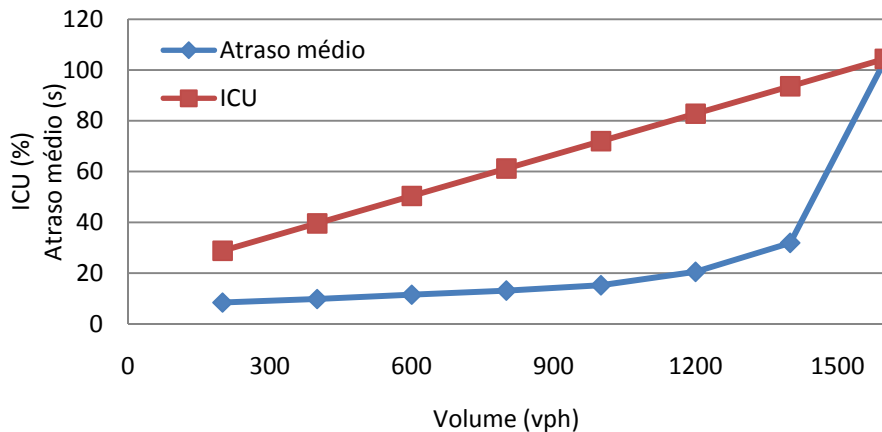


Figura 4 - Variação do atraso médio por veículo e ICU x Variação de volume de tráfego

Uma importante consideração a ser feita é que, devido ao fato das duas metodologias avaliarem parâmetros independentes, aparentes incoerências podem acontecer. Ou seja, é absolutamente possível obter um aceitável nível de serviço (Padrão HCM) como, por exemplo, nível “D”, mesmo com valores de ICU maiores que 100%. Para isto basta haver uma programação semafórica que favoreça os movimentos mais demandados (HUSCH &ALBECK, 2003).

Desta forma é possível inferir que a avaliação de determinada interseção apenas pela metodologia de atraso médio por veículo (HCM) é insuficiente, visto que a interseção

pode já está operando acima de sua capacidade, mas, ainda assim, apresentar um nível de serviço aceitável (HUSCH &ALBECK, 2003).

Portanto, com base no que foi dito, bem como nos resultados mostrados nas Figura 4, é possível constatar que as duas metodologias são complementares, uma vez que apresentam avaliações com base em parâmetros diferentes. A reserva de capacidade discriminada por cada patamar do nível de serviço, padrão ICU, só faz sentido devido ao fato desta metodologia considerar uma possível otimização da programação semafórica da interseção.

Também é possível verificar comparando o percentual de utilização da interseção (ICU-%), apresentado na Tabela 2 e na Tabela 3, que os valores deste não variam, independente da otimização do tempo de ciclo dos semáforos.

5. CONCLUSÕES

Pelos dados obtidos a partir da simulação desta interseção piloto percebe-se que a utilização das duas metodologias de avaliação de forma conjunta pode fornecer conclusões mais embasadas para a constante demanda de se avaliar a qualidade de operação de interseções semaforizadas em centros urbanos em diferentes situações.

Enquanto a metodologia proposta pelo HCM infere sobre a qualidade de operação em tempo real da interseção, no que diz respeito ao tempo perdido pelos veículos, a metodologia ICU diz respeito principalmente à capacidade da interseção absorver um incremento de tráfego e quais os efeitos disto na operação da mesma.

Além disso, pode-se concluir que o ICU não deve, em hipótese alguma, ser utilizado para o planejamento de programações semafóricas, visto que este é totalmente indiferente ao tempo de ciclo.

Devido ao fato da metodologia ICU considerar vários parâmetros iguais aos considerados pelo HCM, as duas metodologias se tornam compatíveis e complementares. Desta forma, o software Synchro/SimTraffic, que fornece em seu relatório, além de outros parâmetros, o atraso médio por veículo, o ICU e os níveis de serviço, padrão ICU e HCM, pode mostrar simultaneamente a capacidade de uma determinada interseção receber incrementos de tráfego e quais são os efeitos disto na qualidade de operação da mesma.

Por último, com relação à avaliação das duas metodologias, conclui-se que a utilização das mesmas, quando feitas em conjunto, minimiza conclusões errôneas sobre a qualidade de operação da interseção ora em estudo. A metodologia HCM é, prioritariamente, destinada a avaliações referentes à programação semafórica de determinada interseção e pode ser muito útil para mostrar possíveis melhorias, passíveis de serem obtidas, através da alteração da mesma. Neste contexto, a metodologia ICU fornece um complemento à avaliação, visto que irá avaliar a capacidade ociosa ou saturada da interseção ora em análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TRB, "Transportation research board, national research council" - Highway Capacity Manual. Washington, D.C., 1994.

TRB, "Transportation research board, national research council" - Highway Capacity Manual. Washington, D.C., 2000.

Husch, David & Albeck John, "Intersection Capacity utilization: Evaluation Procedures for Intersection and Interchanges". Trafficware, 2003.

Trafficware. Synchro 6 Traffic Signal. 2005.