

VARIAÇÃO DO FLUXO DE SATURAÇÃO POR TIPO DE FAIXA E PERÍODOS DE PICO EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS DE FORTALEZA

Francisco Moraes de Oliveira Neto

Marcelo dos Santos de Luna

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN

Universidade Federal do Ceará - UFC

RESUMO

Na literatura é comum se encontrar a afirmação de que o fluxo de saturação varia com as características geométricas e operacionais das interseções semaforizadas, com a composição do tráfego, além de outros fatores como condição do clima, comportamento dos motoristas, condição do pavimento, etc. Considerando uma grande amostra de valores de fluxo de saturação, levantados em campo para 1.214 ciclos semaforicos de 136 faixas de tráfego, em 43 interseções da malha viária de Fortaleza, este estudo buscou identificar o efeito do tipo de faixa e do período de pico sobre o valor médio e o coeficiente de variação desta variável. Foram comparados os valores de fluxo de saturação para faixas exclusivas de tráfego direto, faixas exclusivas de conversão à esquerda e faixas compartilhadas de conversão (esquerda/direto e direita/direto), nos períodos de pico da manhã, meio-dia e tarde. Com um nível de significância de 5%, não foi possível rejeitar as hipóteses nulas de igualdade das médias populacionais da variável fluxo de saturação, e de seu coeficiente de variação, para os diferentes tipos de faixas e períodos de pico analisados.

ABSTRACT

It is common to find in the literature the statement that the saturation flow varies with the geometric and operational characteristics of the signalized intersections, traffic composition, as well as other factors such as climate conditions, drivers behavior, pavement conditions, etc. Based on a large sample of saturation flow values, measured in the field for 1.214 signal cycles of 136 traffic lanes at 43 intersections of Fortaleza's street network, this study tried to identify the effect of lane type and peak period over the mean value and coefficient of variation of such a variable. It was compared the values of saturation flow for direct lanes, exclusive left turn lanes, and shared left and right turn lanes, in the morning, noon, and afternoon peak periods. Considering a 5% significance level, it was not possible to reject the null hypotheses of equal means of the variable saturation flow, and its coefficient of variation, for the different lane types e peak periods analyzed.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do Fluxo de Saturação (FS) é de fundamental importância para o bom desempenho do controle semaforico. O fluxo de saturação é um parâmetro básico para a determinação dos tempos semaforicos e todos os cálculos de desempenho de interseções semaforizadas (capacidade, comprimento de fila, atraso médio por veículo, número de paradas) pressupõem o conhecimento deste parâmetro. Dessa forma, quase todos os programas de computador para dimensionamento e análise de interseções isoladas, em progressão ou em rede usam o fluxo de saturação como parâmetro principal de entrada (Teply e Jones, 1991). Portanto, os resultados destes programas são usualmente sensíveis a variações neste parâmetro.

Embora a variabilidade do volume de tráfego seja fartamente comentada na literatura, não são muitos os estudos já publicados sobre a variação ou variabilidade do fluxo de saturação. De acordo com Stokes (1989), o valor do FS varia com as características geométricas das interseções, características operacionais (localização de paradas de ônibus, atividades de estacionamentos, fases dos semaforos, etc.) e características do tráfego (composição, movimentos de conversão, presença de pedestres, etc.), além de outros fatores como condições do tempo, comportamento dos motoristas, condições do pavimento, etc. Jacques

(1995) chama atenção para o fato de que as diferenças entre os valores do fluxo de saturação obtidos para diferentes aproximações ou faixas de tráfego de uma interseção podem ser resultados diretamente desses fatores. A autora observou, com base em pesquisas em Brasília, que o FS das faixas centrais eram superiores aos das faixas laterais, com exceção de um caso que apresentava um percentual considerável de veículos pesados na faixa central. Contudo, observa-se também na prática que, para uma mesma faixa, o fluxo de saturação varia de um ciclo para outro, sendo as características do tráfego, operacionais e comportamentais, os dois grupos de fatores que, podendo variar de ciclo a ciclo, levam à variabilidade temporal do FS e demais parâmetros do fluxo de tráfego.

Macmahon *et al.* (1997), em pesquisas de campo realizadas em 12 interseções semaforizadas em cinco cidades no sul da Flórida, com 2.901 ciclos considerados, encontraram diferenças significativas entre faixas de aproximações com até três faixas de tráfego, todas de tráfego direto. Uma conclusão deste trabalho foi que, nessas aproximações, as faixas mais à esquerda tendem a apresentar valores de FS mais altos, observando-se uma redução de 3 a 11% para as faixas direitas quando comparadas à faixa mais à esquerda. Uma outra conclusão foi que os valores de FS mais baixos, da ordem de 1.660 veic./htv, considerando o efeito do tráfego pesado, foram encontrados em faixas de aproximações de faixa única e de tráfego direto. Portanto, a principal conclusão foi que o FS de uma faixa de tráfego direto tende a ser maior para aproximações com maior número de faixas, independente de diferenças geográficas.

Considerando as conclusões e recomendações dos poucos estudos encontrados na literatura, o objetivo principal deste trabalho foi analisar a variação do fluxo de saturação para as diferentes faixas de uma aproximação (faixas de tráfego direto e de conversão) e períodos de pico em dias úteis nas interseções semaforizadas de Fortaleza. Para tanto, foram utilizados os dados de levantamentos de fluxo saturação em campo do projeto original do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza (CTAFOR), coletados em 1997. A metodologia de levantamento em campo seguiu o método proposto por Shanteau (1988), adaptado às condições locais por Loureiro e Luna (1997).

2. PARÂMETROS DO FLUXO DE TRÁFEGO

O controle semaforico representa um sistema de filas que pode ser modelado pela Teoria das Filas (May, 1990). A modelagem de um sistema de filas requer o conhecimento de dois parâmetros, quais sejam, a demanda e a taxa de atendimento, que, na Engenharia de Tráfego, são representados pelo volume de tráfego e fluxo de saturação, respectivamente.

Definido de forma genérica, o FS é um valor teórico que reflete a taxa em que os veículos escoam pela faixa de retenção em uma dada aproximação. Teórico porque cada veículo em fila apresenta um comportamento distinto, observado nas diferenças de seus *headways* de descarga. Quando adotamos um valor para o fluxo de saturação, estamos empregando um *headway* de descarga padrão e desprezando essas diferenças, mas incluímos o parâmetro Tempo Perdido (TP), de forma a agregá-las e manter o tempo de desmanche de fila coerente entre modelo e fenômeno.

Na Engenharia de Tráfego, o FS e o TP são parâmetros básicos tanto para a temporização de semáforos, como para a avaliação do desempenho ou capacidade de uma interseção semaforizada (Teply e Jones, 1991). Contudo, os diversos métodos existentes de programação

semafórica e análise de capacidade das aproximações apresentam suas próprias definições de fluxo de saturação e distintos procedimentos de determinação deste parâmetro.

2.1. Conceito de FS e TP

Formalmente, o conceito de fluxo de saturação foi proposto inicialmente por Webster (1958), sendo definido como o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fosse dado tempo de verde integral (escoamento ininterrupto). Normalmente, o FS é expresso em unidade de veículos por hora de tempo de verde [veíc./htv] ou, alternativamente, em um número de veículos equivalentes a carros de passeio por hora de tempo de verde [Veq/htv]. Porém, ao se observar a bibliografia especializada, percebe-se que a definição de FS carece de uma contextualização de uso do parâmetro que pode levar a uma má interpretação do seu conceito. O TRB (2000), o TRL (Binning e Crabtree, 2000) e o ARRB (Akçelik, 1993) definem fluxo de saturação como sendo uma *taxa máxima* de descarga de veículos, seja durante o verde ou quando existe fila. May (1990) é mais detalhado, definindo o FS como sendo a taxa horária de fluxo na qual os veículos atravessam uma faixa ou aproximação sob condições de tráfego constantes, assumindo que seja dado verde indefinidamente para esse fluxo, e que este não experimente nenhum tempo perdido.

Uma conceituação mais prática do FS é encontrada quando se empregam os métodos de programação semafórica, ou quando se usa um dos procedimentos de determinação em campo desse parâmetro, ficando claro que o fluxo de saturação representa não uma *taxa máxima*, mas uma *taxa média* de descarga de veículos, representativa do comportamento veicular observado ao longo de vários ciclos semafóricos e, referente somente ao período do verde em que se observa uma estabilização do fluxo de descarga.

O tempo perdido, por sua vez, também não tem uma definição única, resultando da soma de duas parcelas: Tempo Perdido Inicial (TPI) e Final (TPF). Shanteau (1988) alerta que frequentemente se observa uma interpretação errônea do TPI como sendo o tempo entre a abertura do verde e a passagem do primeiro veículo pela retenção. Teoricamente, o TPI é um valor que representaria o tempo de aceleração dos veículos do repouso à sua velocidade normal de percurso, enquanto que o TPF representaria um intervalo de tempo no final do estágio de entreverdes no qual não há descarga de veículos.

2.2. Métodos de determinação do FS e TP

Muitos autores e documentos consultados recomendam a medida do FS “in loco” para uma determinação mais realista deste parâmetro para uso em métodos de programação semafórica. As técnicas de medição em campo do FS, conforme Teply e Jones (1991), podem ser separadas em dois grupos. Os métodos do primeiro grupo baseiam-se na medição dos intervalos sucessivos (*headways*) entre os veículos que deixam a linha de retenção de uma aproximação. Os métodos do segundo grupo, por sua vez, baseiam-se na contagem dos veículos que passam sobre a linha de retenção, em curtos intervalos de tempo dentro do período de verde. Podemos incluir na primeira categoria os métodos do HCM (TRB, 2000) e de Shanteau (1988). Enquanto que o segundo grupo é melhor representado pelos métodos da *Road Note 34* (RRL, 1963), do DENATRAN (1984), do *Canadian Capacity Guide* (Teply *et al.*, 1984) e do ARRB (Akçelik, 1993). Todos os métodos, porém, obtêm o valor de FS a partir da média dos valores encontrados ao longo de uma série de ciclos amostrados.

Jacques *et al.* (1994) fizeram uma comparação dos valores de fluxo de saturação obtidos pelos métodos HCM, ARRB e *Road Note 34*, constatando que as diferenças numéricas encontradas não eram significativas, o que torna os métodos equivalentes entre si no que se refere à precisão e à magnitude.

Shanteau (1988) propôs um modelo para a determinação dos valores de FS e TP a partir da utilização de curvas de acumulação do número de veículos descarregados *versus* tempo, conforme representado na Figura 1. De acordo com este modelo, após o início do verde, a taxa de descarga de veículos na fila cresce até atingir uma taxa constante (FS), correspondente à inclinação do trecho linear da curva de acumulação. O número de veículos plotado na curva deve ser um valor médio ao longo de vários ciclos, de 5 a 10, sendo que a aproximação ou faixa de tráfego deve se apresentar saturada durante o período de observação. O valor de FS é representado pelo coeficiente angular de uma reta ajustada ao trecho retilíneo da curva, enquanto que o TPI e o TPF podem ser determinados graficamente, conforme mostrado na Figura 1.

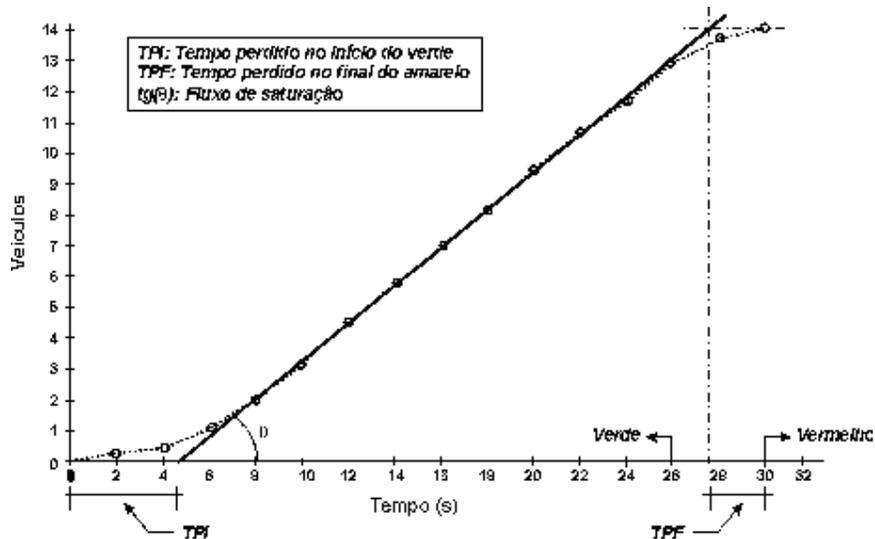


Figura 1: Curva de acumulação veículos *versus* tempo (Fonte: Luna e Loureiro, 1997)

Nos casos nos quais não é possível a medição em campo do FS, como em projetos de novas interseções ou mesmo mudanças físicas em cruzamentos existentes, vários trabalhos (Kimber *et al.*, 1986; Ribeiro, 1992; Magalhães *et al.*, 1998; dentre outros), incluindo a metodologia de análise de capacidade em interseções semaforizadas do HCM (TRB, 2000), propõem a estimativa do FS por meio de fórmulas empíricas, nos quais o valor do FS é estabelecido como função de características pré-determinadas de geometria e condições médias do tráfego.

2.3. Variabilidade temporal dos parâmetros do fluxo de tráfego

Conforme destacado anteriormente, a bibliografia consultada é clara em afirmar que vários fatores operacionais afetam o valor dos parâmetros do fluxo de tráfego. Porém, dentre esses fatores, pode-se identificar dois que são temporalmente variáveis: composição do tráfego e percentual de conversões. Além das características operacionais, podem ser incluídos nessa categoria fatores motivacionais ou comportamentais dos motoristas (Torbic & Elefteriadou, 2000) e condições climáticas e de uso do solo lindeiro (Stokes, 1989).

O HCM (TRB, 2000) e o TRL (2000a) consideram que a variação que possa ocorrer ao longo de um dia é negligenciável. Corroborando essa postura, Torbic e Elefteriadou (2000) realizaram um estudo de caso, contemplando uma única interseção, e não encontraram diferenças no fluxo de saturação entre períodos de pico e entre-pico, ou mesmo entre dias da semana. No entanto, Stokes (1989) cita que Webster e Cobbe (1966) encontraram diferenças de 6% nos valores de FS no entre-pico em relação ao pico, e que Branston (1979) detectou valores de FS no pico 9% superiores ao entre-pico, além de haver detectado diferenças estatisticamente significativas entre os períodos de dia e de noite.

Vale destacar também que dentre os sistemas adaptativos de controle do tráfego, o sistema SCOOT dispõe de um recurso, batizado de laços SOFT (TRL, 2000b), para detectar variações ciclo a ciclo no FS e fazer correções sobre o valor calibrado; embora, na prática, este recurso não venha sendo muito utilizado. Entretanto, o manual do sistema apresenta gráficos que mostram que o valor de FS sofre consideráveis variações ao longo do dia e apresenta um comportamento distinto entre um dia útil e um sábado.

Parece, portanto, haver um consenso na literatura especializada sobre a existência de, pelo menos, pequenas variações temporais no valor do fluxo de saturação. No entanto, por menores que sejam estas variações, deve-se avaliar suas conseqüências, pois, segundo Teply e Jones (1991), pequenas diferenças no valor do FS podem resultar em grandes variações no tempo de ciclo calculado e no tempo de verde alocado, notadamente em condições próximas da saturação.

Portanto, antes de partir para analisar o efeito destas variações temporais nos parâmetros do fluxo de tráfego na rede semaforizada de Fortaleza, ou mesmo de identificar quais fatores mais fazem variar estes parâmetros, decidiu-se inicialmente verificar a existência ou não de variações significativas no valor do FS entre diferentes tipos de faixas de tráfego, nos três períodos de pico do dia (manhã, meio-dia e tarde). Vale mencionar que iniciativa semelhante foi realizada em Brasília (Silva *et al.*, 2001), contemplando um estudo-piloto com oito faixas de quatro aproximações, tendo-se concluído que (sem uma especificação de nível de significância), em uma mesma aproximação, os *headways* de descarga para as faixas compartilhadas foram levemente superiores que os das faixas exclusivas de tráfego direto. No referido estudo não se observou o efeito do período do dia sobre o valor do FS.

3. DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de levantamentos em campo da descarga de veículos, por faixa de tráfego, em 49 interseções semaforizadas (169 faixas de tráfego) de Fortaleza. Este levantamento fez parte do projeto original do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza – CTAFOR (ASTEF, 1998).

Os levantamentos em cada faixa de tráfego foram realizados considerando uma amostra mínima de 15 ciclos, observados em dias úteis, ao longo dos períodos de pico do tráfego (7:00/8:30hs; 12:00/14:30hs; 17:00/18:30hs), sendo que cada faixa de tráfego foi levantada em apenas um dos períodos de pico. Esta amostra foi obtida de acordo com o estudo feito por Jacques (1995), admitindo um erro relativo de 10%, para um nível de significância de 5%, e coeficientes de variação da ordem de 18% (valor médio encontrado pela autora utilizando a

metodologia do HCM). No entanto, alguns ciclos não saturados foram descartados, resultando, em algumas situações, num número de ciclos menor que o mínimo recomendado.

Para a análise em questão, procurou-se eliminar o efeito da geometria das interseções no comportamento do tráfego, sendo escolhidas 136 faixas de tráfego com características geométricas similares, descartando-se aproximações com greide muito acentuado e geometria irregular, reduzindo o total de interseções analisadas para 43. Quanto à composição do tráfego, 80% das faixas analisadas apresentaram um percentual de veículos pesados não superior a 5%, representando, portanto, um contexto de tráfego leve típico da malha viária urbana. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos dados (número de faixas e ciclos pesquisados) por tipo de faixa. Já a Tabela 2 apresenta a distribuição da amostra por período de pico.

Tabela 1: Distribuição dos dados por tipo de faixa

Tipo de Faixa	Nº Faixas	%	Nº Ciclos	%
CDM	43	31,6	367	30,2
CEE	10	7,4	103	8,5
CEM	20	14,7	187	15,4
TD	63	46,3	557	45,9
Total	136	100,0	1214	100,0

Tabela 2: Distribuição das faixas analisadas por tipo de faixa para os picos do dia

Tipo de Faixa	M	MD	T
CDM	6	10	27
CEE	1	0	9
CEM	5	2	13
TD	6	9	48
Total	18	21	97
%	13,2	15,4	71,3

Nas Tabelas 1 e 2, CDM significa faixa de conversão à direita mista (compartilhada), CEE significa faixa de conversão à esquerda exclusiva, CEM significa faixa de conversão à esquerda mista e TD representa faixas exclusivas de tráfego direto.

3.1. O método de medição em campo do FS

Conforme descrito em Loureiro e Luna (1997), o método de Shanteau foi a base para a determinação dos valores de FS utilizados neste trabalho. Na determinação do FS, o *software* SATUR (Luna e Loureiro, 1997) foi utilizado para digitação e análise dos dados coletados em campo, gravados em fitas cassete. As medições em campo consistiam, basicamente, em determinar o instante do verde em cada ciclo no qual cada veículo passava sobre a linha de retenção. As contagens foram realizadas desde o início do verde até a interrupção do movimento.

Uma vez digitados os dados gravados nas fitas cassete, procedeu-se, no SATUR, uma análise dos ciclos individuais observados. Um gráfico tempo *versus* veículos foi gerado para cada ciclo no qual delimitou-se o trecho em que se identificaram veículos que não pertenciam à fila quando do início do verde, e que, portanto, passaram após o término da mesma, sem sofrerem atrasos. Este recurso, segundo Loureiro e Luna (1997), foi criado devido à dificuldade de se

obter em Fortaleza, mesmo nos horários de pico, aproximações em cruzamentos semafóricos com um número significativo de ciclos completamente saturados. O programa também permitiu eliminar ciclos inteiros, nos casos onde, a partir da análise do gráfico, percebeu-se alguma descontinuidade no comportamento do tráfego, ou mesmo, quando o intervalo saturado era muito curto. A análise de ciclos individuais permitiu que se obtivesse os valores do fluxo de saturação de cada ciclo, sendo utilizados posteriormente neste estudo.

Na etapa seguinte, correspondente ao “processamento final” do SATUR, os valores obtidos de cada ciclo válido foram agregados em intervalos de acumulação de 2 segundos. O programa gera um gráfico acumulado do número médio de veículos observados nos ciclos individuais *versus* tempo (ver Figura 1), representando o comportamento médio do tráfego referente ao período que durou a coleta de dados. Cabe ao usuário do programa delimitar o trecho do gráfico que corresponda a um comportamento linear sobre o qual os parâmetros do fluxo são determinados.

A Figura 2 mostra uma janela exemplo do processamento final do SATUR. A reta no gráfico é ajustada por regressão linear e o FS, em veículos por hora, é dado pela inclinação desta reta de ajuste. Os parâmetros TPI (início do verde) e TPF (final do amarelo) são também determinados e apresentados, juntamente com outros resultados da análise, na parte superior da janela. O tempo perdido no final do amarelo deve ser desprezado caso tenham sido incluídos ciclos que não estavam saturados.

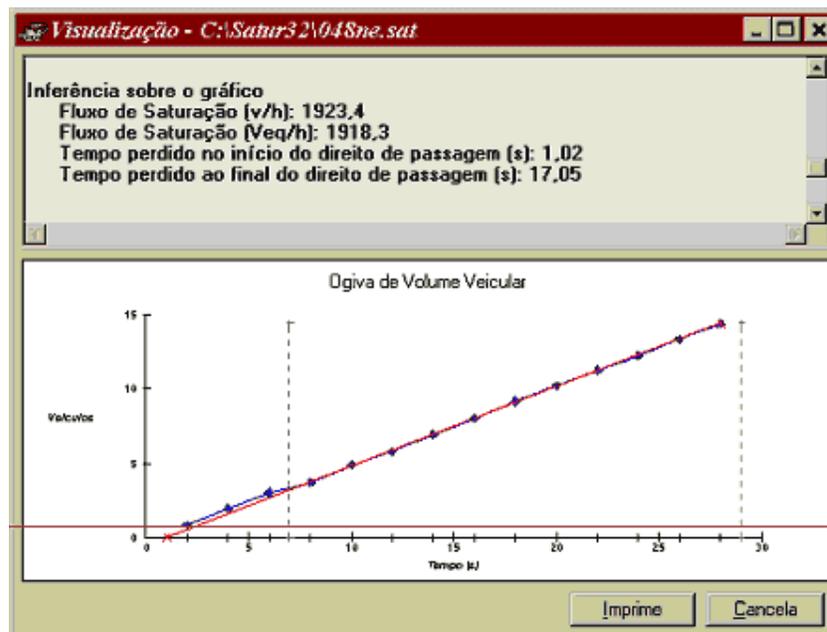


Figura 2: Processamento final do SATUR (Fonte: Luna e Loureiro, 1997).

O FS em veículos por hora é convertido para unidades de carros de passeio com uso de fatores de equivalência veicular calculados, no próprio programa, especificamente para cada faixa de tráfego. O método de cálculo dos fatores equivalência no SATUR consiste na determinação de uma medida de impacto denominada “*headway duplo saturado*”, definido como o tempo compreendido entre a passagem de dois veículos padrões, intercalados pela passagem do

veículo que se deseja estimar o fator de equivalência. O fator de equivalência de cada veículo é dado pela razão de seu *headway* duplo saturado médio, para todos os ciclos válidos, com o do veículo padrão. A rotina não considera no cálculo os cinco primeiros veículos da fila, devido ao efeito causado pela inércia ao início do movimento. Acredita-se que o uso destes fatores específicos minimiza as diferenças mecânicas dos veículos que compõem o tráfego.

Os valores de FS analisados neste trabalho estão em unidades de veículos equivalentes por hora de tempo de verde (V_{eq}/htv), convertidos a partir dos fatores de equivalência calculados pelo SATUR. No cálculo do valor final do SATUR em cada faixa (FS_{Satur}), considerou-se a composição de todo o tráfego observado no período de coleta, enquanto que o valor do FS em cada ciclo (FS_{Ciclo}), considerou apenas a composição detectada no ciclo.

4. ANÁLISE DOS DADOS

A análise do efeito do tipo de faixa e período de pico sobre o valor do fluxo de saturação foi realizada considerando as seguintes variáveis:

- FS_{Ciclo} : fluxo de saturação por ciclo, obtido da análise ciclo a ciclo do SATUR, expresso em $[V_{eq}/htv]$;
- FS_{Satur} : fluxo de saturação por faixa analisada, obtido do processamento final do SATUR, em $[V_{eq}/htv]$;
- $FSVAR$: coeficiente de variação da variável FS_{Ciclo} , por faixa de tráfego.

4.1. Análise descritiva das variáveis

A Tabela 3 apresenta uma análise descritiva das três variáveis listadas acima, para os 1.214 ciclos das 136 faixas analisadas. Conclui-se, com um nível de significância de 5%, não ser possível rejeitar a hipótese nula de igualdade entre os valores médios populacionais do FS por ciclo e do FS por faixa. Isto indica que o método utilizado de determinação do FS é consistente, já que o FS médio da análise ciclo a ciclo não se distanciou da média dos valores obtidos no processamento final do SATUR (média do FS_{Satur}).

Tabela 3: Análise descritiva das três variáveis

<i>Variáveis</i>	<i>FS-Ciclo</i>	<i>FS-Satur</i>	<i>FSVAR</i>
n	1214	136	136
Média	1895	1848	0,11
Desvio padrão	269	202	0,04
Valor Máximo	2711	2469	0,35
Valor Mínimo	1028	1333	0,05
Coefficiente de Variação	0,14	0,11	0,34
Erro ($\alpha= 5\%$)	15	34	0,01

Esclarecendo mais uma vez o significado desta variável, o FS_{Satur} traduz a taxa de descarga do comportamento médio do tráfego numa dada faixa, durante um determinado período de pico do dia, desconsiderando os veículos que não faziam parte da fila no início do verde, assim como aqueles que perderam tempo nos instantes iniciais do período de descarga. Portanto, acredita-se que esta variável represente exatamente o conceito de FS estabelecido por Webster.

Analisando-se a variabilidade do valor de FS entre ciclos de uma mesma faixa de tráfego,

observa-se um coeficiente de variação (*FSVAR*) médio de 11%, com um valor mínimo de 5% e máximo de 35%. O fato de terem sido observados coeficientes de variação de até 35% leva à reflexão da necessidade de se verificar o efeito desta variação sobre o desempenho da programação semafórica. Vale destacar que, considerando um CV igual a 11%, obtém-se um erro em torno de 6% para a estimativa intervalar do FS médio em uma determinada faixa de tráfego, com uma amostra de 15 ciclos e um nível de significância de 5%. Este erro representa, para um FS em torno de 1.800 Veq/h/v, ± 100 ucp por hora de verde naquela faixa.

A distribuição de frequência da variável *FS_Satur* está representada na Figura 3. Utilizando o STATISTICA, foi aceita a hipótese de normalidade para o comportamento desta variável.

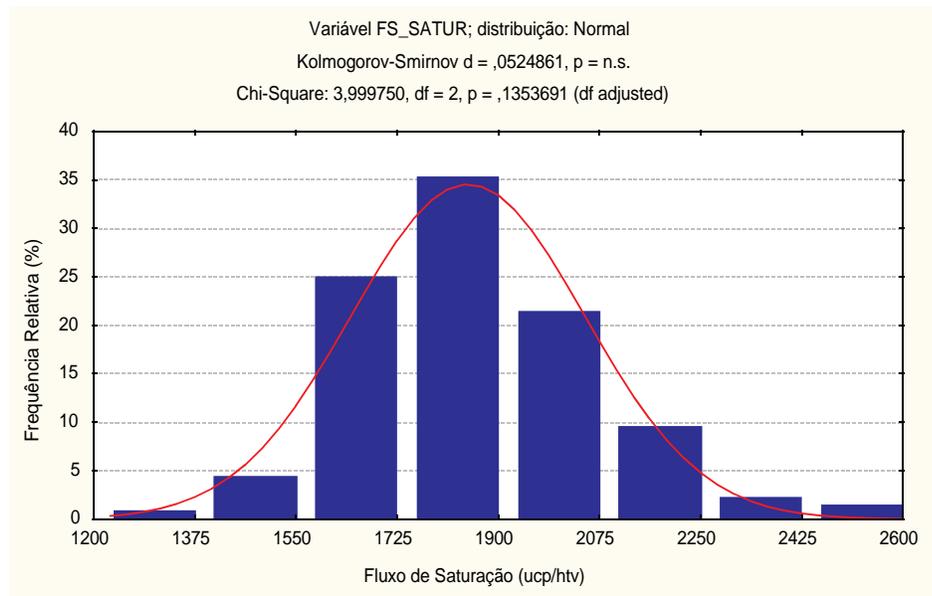


Figura 3: Distribuição de frequência da variável *FS_Satur*

4.2. Análise da variação do FS por tipo de faixa de tráfego

Para verificar a existência de diferenças significativas entre os valores médios das três variáveis estudadas em cada tipo de faixa, foi realizada uma análise de variância com nível de significância de 5%. Os valores-p apresentados na Tabela 4 não permitem a rejeição das três hipóteses nulas, levando à conclusão de que não há diferenças significativas entre os grupos de faixas considerados, nem no valor médio do FS, nem na média do próprio coeficiente de variação do FS.

Tabela 4: ANOVA: *FS* entre os tipos de faixas de tráfego

<i>Variáveis</i>	<i>F</i>	<i>F crítico</i>	<i>Valor-P</i>
<i>FS_Ciclo</i>	1,76	2,61	0,15
<i>FS_Satur</i>	0,91	2,67	0,44
<i>FSVAR</i>	0,19	2,67	0,90

4.3. Análise da variação do FS por período de pico do tráfego

A partir da subdivisão da amostra por período de pico (M, MD e T), testou-se a hipótese nula

de igualdade das médias populacionais da variável FS_Ciclo , entre os picos considerados. Esta análise partiu da premissa de que, não sendo significativa a diferença no valor do FS_Ciclo entre os tipos de faixas, a amostra geral poderia ser segmentada por pico. A análise de variância mostrou que, para um nível de significância de 5%, não existe diferença significativa no valor do FS_Ciclo entre os períodos de pico do tráfego ($F = 0,37$ e $F_{crítico} = 3,00$). O gráfico da Figura 4 apresenta os intervalos de confiança (GC = 95%) para os três períodos analisados.

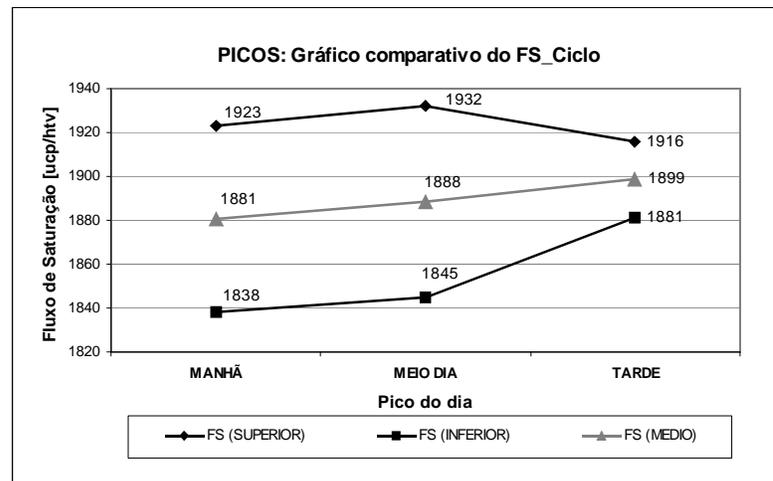


Figura 4: Intervalos de confiança do FS_Ciclo por período de pico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, levantou-se a hipótese, embasada na literatura, de variação do FS entre faixas exclusivas de tráfego direto, faixas exclusivas de conversão à esquerda e faixas compartilhadas de conversão (esquerda e direita), para os diferentes períodos de pico de tráfego ao longo de um dia útil. Concluiu-se não haver evidências de diferenças do FS, no nível de significância de 5%, entre os tipos de faixas e entre os picos do dia.

O coeficiente de variação do FS entre ciclos de uma mesma faixa de tráfego variou de 5 a 35%. Viu-se, na bibliografia consultada, que pequenas variações no valor do FS podem afetar significativamente o tempo de ciclo calculado e o verde alocado. Desta forma, deve-se avaliar a consequência das variações ciclo a ciclo do FS no desempenho da operação semafórica.

Os resultados de diferenças não significativas nos valores de FS entre faixas talvez possam ser explicados analisando os demais fatores que podem levar à variação do FS entre faixas de tráfego: a geometria, o percentual de conversões e a composição do tráfego. A geometria não afetou de forma significativa o desempenho de cada faixa, visto que todas as faixas analisadas apresentavam geometria similar. A quantidade de veículos que realizavam movimento de conversão não foi levantada, impossibilitando a análise do efeito do percentual de conversão sobre o valor do FS para as faixas compartilhadas. Quanto à composição do tráfego, o uso de fatores de equivalência específicos de cada faixa de tráfego minimiza as diferenças mecânicas dos veículos, diminuindo o efeito do tráfego pesado sobre o FS; além disso, 80% das faixas analisadas apresentaram um percentual de veículos pesados na composição não superior a 5%. Portanto, recomenda-se projetar um novo experimento que permita identificar e quantificar o

efeito destes três fatores sobre a magnitude do FS e a sua variabilidade ciclo a ciclo.

Porém, constatar que valores de FS para diferentes faixas tráfego de uma aproximação não diferem significativamente, não significa afirmar que o desempenho das faixas seja similar entre si, pois o FS é um valor teórico da taxa de descarga no período do tempo de verde, mas a duração de tempo em que essa descarga pode ocorrer, o verde efetivo, é determinada pelo valor do TP adotado. Portanto, considerando a capacidade de vazão de tráfego entre faixas, o TP tem um papel determinante, devendo-se proceder a análise dos valores do FS em conjunto com os do TP. Considerando o trabalho realizado, pode-se especular, tendo em vista a bibliografia consultada, que se os movimentos de conversão forem consideráveis, uma análise comparativa dos valores de TPI resultaria em valores maiores para as faixas de conversão em relação às de fluxo direto. Pode-se supor que o procedimento adotado no SATUR, em que se buscava encontrar não só o trecho do gráfico que apresentava uma tendência linear, mas também a maior taxa de descarga levou a uma homogeneização dos valores de FS e a uma maior variação dos valores de TP.

As duas últimas recomendações de extensão da análise realizada neste trabalho estão sendo consideradas em uma pesquisa de dissertação de mestrado (Luna e Loureiro, 2001) que tem como objetivo geral detectar variações do FS e TPI que possam ocorrer entre ciclos semafóricos, operando em diferentes períodos do dia e dias da semana, decorrentes de variações comportamentais dos motoristas, da composição do tráfego e percentual de conversões. Caso sejam confirmadas estas variações, espera-se poder especificar os períodos mais adequados para se efetuar a calibração do SCOOT na rede semafórica do CTAFOR, bem como detectar a necessidade da alteração do parâmetro *saturation/occupancy* ao longo do dia ou semana. Ainda que não seja detectada uma variação no valor de FS, um resultado marginal esperado é uma definição mais adequada dos valores de FS e TPI a serem usados em métodos de programação semafórica e análise de capacidade, baseados em valores amostrados da taxa de descarga da fila de veículos de cada ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akçelik, R. (1993) *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. Research Report ARR 123. Australian Road Research Board Ltd. Austrália.
- ASTEF (1998) *Estudos e Projetos para Implantação do Sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza - CTAFOR*, Relatório Final, Contrato DETRAN/ASTEF, Fortaleza, CE.
- Binning, J.; M. R. Crabtree (2000) *TRANSYT 11 User Guide*. Application Guide 35. Transportation Research Laboratory.
- Branston, D. (1979). Some Factors Affecting the Capacity of Signalized Intersections. *Traffic Engineering and Control* 20:390-396.
- DENATRAN (1984) *Manual de Semáforos* (2ª. ed). Departamento Nacional de Trânsito. Ministério da Justiça. Brasília.
- Jacques, M.A.P. (1995) Avaliação do impacto do tamanho da amostra em medições do fluxo de saturação: um estudo de caso. *Transportes*, 3(2):95-107.
- Jacques, M.A.P.; E.R. Anastácio e S. Felisari (1994) Avaliação dos métodos utilizados para a medição do fluxo de saturação através de um estudo de caso. *Anais do VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Recife, v. 1, p. 301-312.
- Kimber, R.M.; McDonald, M. and Hounsell, N.B. (1986). The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals. *Transport and Road Research Laboratory RR 67*, Crowthorne.
- Loureiro, C.F.G.; M.S. Luna (1997) Metodologia para determinação de parâmetros de fluxo no Sistema de Controle de Tráfego de Fortaleza. *Anais do XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, v. 2, p. 740-751.

- Luna, M.S.; C.F.G. Loureiro (1997) *SATUR - Manual do Usuário*. 13º Relatório Parcial de Andamento dos Estudos e Projetos para Implantação do Sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza - CTAFOR, Contrato DETRAN/ASTEFL, Fortaleza, CE.
- Luna, M.S.; C.F.G. Loureiro (2001) Estudo da Variabilidade Ciclo a Ciclo do Fluxo de Saturação e do Tempo Perdido Inicial. Relatório de Dissertação em Andamento. *Anais do XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - ANPET, p. 39, Campinas, SP.
- Magalhães, D. J. A. V.; M. V. F. Soares; L. G. das Mercês; J. M. Pinto Júnior; G. W. Santos; S. J. C. Campos e C.E.L. Magnani (1998) Determinação Empírica do Fluxo de Saturação e Diagnóstico de Congestionamentos do Tráfego Urbano. *Anais do XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Fortaleza, v. 1, p. 29-38.
- May, A. D. (1990) *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice Hall, New Jersey, EUA.
- Mcmahon, J. W.; Krane, J. P.; Federico, A. P. (1997) Saturation Flow Rates by Facility Type. *ITE Journal*, 67(01):46-50.
- Ribeiro, P.C.M. (1992) Um método moderno para medir fluxo de saturação de interseções semaforizadas no Brasil. *Anais do VI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, p. 236-246.
- Richardson, D. e S. Tepley (1984) *Canadian capacity guide for signalized intersections*. First ed. Edited by S. Tepley, University of Alberta. Institute of Transportation Engineers, District 7 – Canada.
- RRL (1963) A Method for Measuring Saturation Flow at Signalized Intersections. Road Note 34/196, *Road Research Laboratory*, Crowthorne, England.
- Shanteau, R.M. (1988) Using cumulative curves to measure saturation flow and lost time. *ITE Journal*, 58(10): 27-31.
- Silva, T.L.P.Q.; I.N.F. Queiroz e M.A.P. Jacques (2001) Análise do impacto do movimento de conversão à direita sobre o processo de descarga de filas em interseções semaforizadas. *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - ANPET, Comunicações Técnicas, pp. 193-198, Campinas, SP.
- Stokes, R. W. (1989) Some Factors Affecting Signalized Intersection Capacity. *ITE Journal*, Jan. 1989, p. 35-40. (CD ROM) ITE Digital Library: 1997 edition.
- Tepley, S. e A. M. Jones (1991) Saturation Flow: Do We Speak the Same Language? *Transportation Research Record*, 1320, p. 144-153.
- Torbic, D. e L. Elefteriadou (2000) Effects of Driver Population on the Traffic Operational Performance of Signalized Intersection. *Transportation Research Circular*, Fourth International Symposium on Highway Capacity, p. 336-347.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., EUA.
- TRL (2000a) *SCOOT 0454 – Validation Data Parameters*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- TRL (2000b). *SCOOT 0478 - Operational Guide - SOFT*. *SCOOT Traffic Handbook*. Transportation Research Laboratory.
- Webster, F. V. e Cobbe, B.M. (1966) “Traffic Signails”. *Road research technical paper*. N.º 56. London. HMSO.
- Webster, F. V. (1958) “Traffic Signails Settings”. *Road research technical paper*. N.º 39. London. HMSO.

Universidade Federal do Ceará
 Departamento de Engenharia de Transportes
 Campus do Pici – Centro de Tecnologia – Bloco 703
 60.455-760 - Fortaleza – CE

Fone/Fax: (0xx85) 288-9488
 E-mail: felipe@det.ufc.br
 Moraes@det.ufc.br
 mluna@baydenet.com.br