

# DISCUSSÃO CONCEITUAL SOBRE A METODOLOGIA DO HCM2000 PARA ANÁLISE DE VIAS URBANAS CONSIDERANDO O CENÁRIO NACIONAL

**Francisco Suliano Mesquita Paula**

Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

**Carlos Felipe Grangeiro Loureiro**

Universidade Federal do Ceará – UFC

## RESUMO

O *Highway Capacity Manual* – HCM 2000 é um manual americano que contém metodologias para a avaliação do nível de serviço e estimação da capacidade de diversos elementos do sistema viário, incluindo uma específica para a análise de vias urbanas (arteriais e coletoras). Essa metodologia pode ser dividida em três métodos: 1º Método – Determinação da classe da via; 2º Método – Estimação do nível de serviço; e 3º Método – Simulação da velocidade média de percurso. Este artigo foi elaborado com o objetivo de melhor compreender e esclarecer os aspectos conceituais inerentes à metodologia de análise de vias arteriais urbanas do HCM2000, estruturando a discussão com base na análise específica de cada um dos três métodos, buscando aprimorar sua aplicação à luz das especificidades das vias e dos usuários nas grandes cidades brasileiras.

## ABSTRACT

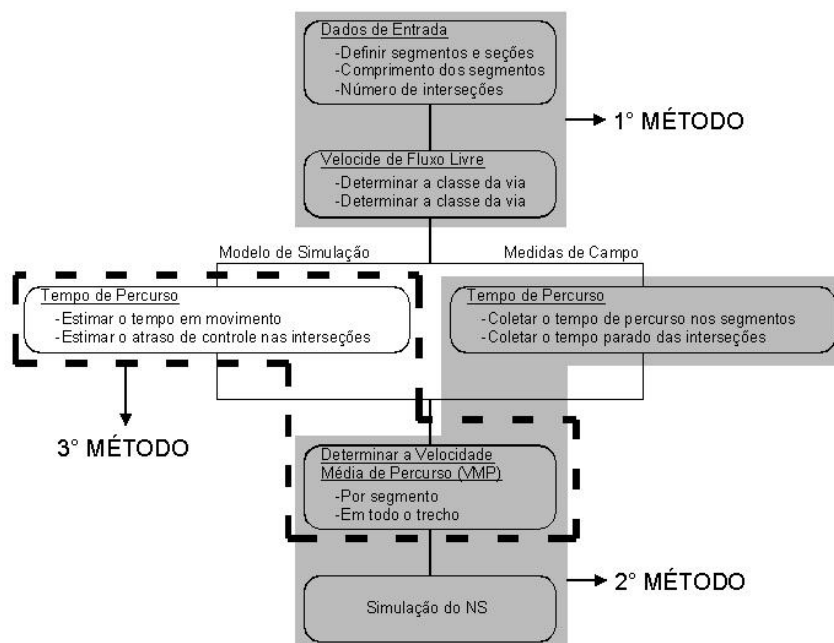
The *Highway Capacity Manual* – HCM 2000 is an American manual which contains methodologies to assess the level of service and to estimate the capacity of different components of the traffic system, including a specific section regarding urban street analysis (arterials and collectors). This methodology can be divided in three methods: 1<sup>st</sup> Method – Street class determination; 2<sup>nd</sup> Method - Level of service assessment; 3<sup>rd</sup> Method – Simulation of the space average speed. This paper was developed aiming at better understanding and explaining the conceptual aspects inherent to HCM2000 urban street analysis methodology, structuring the discussion based on the specific analysis of each one of the three methods, striving to enhance their application under the consideration of the peculiarities of streets and users of Brazilian large cities.

## 1. INTRODUÇÃO

O *Highway Capacity Manual* – HCM (TRB, 2000) é um manual americano, utilizado mundialmente (Kittelson, 2000), que contém metodologias para a estimação da Capacidade e do Nível de Serviço (NS) de diversos elementos viários do sistema de transporte terrestre urbano e rodoviário. Dentre as metodologias propostas na sua última versão - HCM2000, existe uma específica para a análise de vias urbanas (arteriais e coletoras), que é descrita em duas etapas no manual: a primeira no Capítulo 10 – *Urban Street Concepts* e a segunda no Capítulo 15 – *Urban Streets*. Na primeira parte são apresentados alguns conceitos básicos e a forma de determinar a classe de uma via urbana; já na segunda são discutidos outros aspectos conceituais e apresentados os métodos de estimação do Nível de Serviço (NS) de um trecho de via urbana, assim como de simulação da velocidade média operacional do corredor viário.

Embora nem o HCM2000, nem sua versão anterior de 1985 (com atualizações em 1994 e 1997), apresentem a metodologia de análise de vias urbanas como um conjunto seqüenciado de métodos ou modelos, optou-se neste artigo, para facilitar a compreensão e análise dessa metodologia, por decompô-la em três métodos, conforme destacado na Figura 1 e já proposto anteriormente por Loureiro *et al.* (2004), os quais são descritos resumidamente a seguir. Foi denominado de 1º Método a parte da metodologia que objetiva determinar a classe da via, utilizando os seus aspectos funcionais, tais como acessibilidade e mobilidade, e os seus aspectos de projeto, como geometria e dados operacionais. Este método é provavelmente incompatível com as características das vias brasileiras pela própria estrutura básica que considera características funcionais e de projeto dos corredores arteriais, a qual se aplica bem em um sistema viário hierarquizado como o americano. Essa realidade é diferente da encontrada no cenário nacional, pelo menos na maior parte das malhas urbanas das grandes

cidades brasileiras, em que se observam pequenas diferenças entre vias arteriais e coletoras e, até mesmo, entre arteriais e locais.



**Figura 1:** Metodologia do HCM 2000 para estimativa do NS de vias urbanas

Batizou-se de 2º Método a parte da metodologia que determina a qualidade do NS da oferta viária a partir da velocidade média de percurso (VMP) e da classe da via. Esse método pressupõe um modelo de percepção dos usuários em relação à qualidade do tráfego, o que o torna suspeito de ter sua utilização comprometida na realidade brasileira. Ademais, entende-se que esse modelo também tem limitações de aplicação em locais que experimentem níveis de congestionamentos bastante distintos, por não considerar que nesses dois cenários os usuários têm percepções diferenciadas.

Por fim, denominou-se 3º Método a parte da metodologia que é utilizada para simular a velocidade média operacional do corredor urbano, considerando basicamente duas variáveis: o tempo médio em movimento entre interseções semaforizadas e o atraso médio total dispensado nesses nós, observando-se toda a corrente do tráfego de passagem. Vale ressaltar de imediato que cada uma dessas variáveis contém parâmetros que necessitam ser calibrados e validados para utilização nas cidades brasileiras.

Observa-se, portanto, que o HCM2000 se constitui em uma ferramenta complexa disponível para a análise dos corredores arteriais urbanos no Brasil. Porém, por ser uma metodologia desenvolvida para a realidade de um país com grandes diferenças econômicas, sociais, culturais, e que possui sistemas viários com características geométricas e operacionais bastante diferentes, estabeleceu-se como hipótese de pesquisa que essa metodologia não é adequada à realidade brasileira devido às diferenças existentes tanto em relação às características físico-operacionais do sistema viário, quanto ao comportamento dos seus usuários.

Diante do patente distanciamento entre o meio urbano americano e o nacional, se a metodologia do HCM for aplicada diretamente no Brasil, podemos estar avaliando de forma

equivocada nossas vias, fazendo com que a realidade local não seja retratada e compreendida de forma fidedigna. Ressalta-se que a metodologia proposta pelo HCM é basicamente a única utilizada para o estudo de vias arteriais pela comunidade técnica brasileira, quer seja para fins de planejamento, de projeto ou operacionais. Assim, necessita-se investigar até que ponto essa metodologia é válida para a realidade nacional, pois adotar uma avaliação errônea causaria impacto sempre negativo no sistema de transportes, quer seja por subestimação, acarretando custos desnecessários para sua melhoria, ou por superestimação, levando à não implementação de intervenções necessárias e elevando os custos de transporte e ambientais.

Recentemente, duas pesquisas de dissertações de mestrado foram desenvolvidas buscando contribuir para a verificação da adequabilidade dessa metodologia às condições das vias urbanas brasileiras, Gasparini (2002) e Paula (2006), ambas com o intuito último de subsidiar um futuro desenvolvimento de uma metodologia genuinamente nacional. Também visando esse propósito maior, este artigo foi elaborado com o objetivo de melhor compreender e esclarecer os aspectos conceituais considerados no HCM2000 em relação à metodologia de análise de vias arteriais urbanas, buscando aprimorar sua aplicação à luz das especificidades das vias e dos usuários nas grandes cidades brasileiras. A discussão conceitual a seguir apresentada está estruturada com base na perspectiva dos três métodos acima mencionados.

## **2. ANÁLISE DE VIAS URBANAS COM O HCM2000**

A metodologia do HCM2000 para análise de vias urbanas tem como foco o grau de mobilidade de uma via urbana, o qual é mensurado por meio da velocidade média de percurso (VMP) da corrente de tráfego de passagem, não sendo possível mensurar a acessibilidade do corredor. Podem ser analisadas vias com espaçamento semaforico menor ou igual a 3,0 km, podendo ser de sentido único ou duplo, devendo cada sentido ser analisado separadamente. Também é recomendado que a via a ser analisada tenha pelo menos 3,0 km de extensão (ou 1,5 km em áreas centrais), podendo ser analisadas vias mais curtas. Porém, o manual considera que provavelmente essas vias tenham função exclusiva de acesso, cuja avaliação pode ser realizada através da análise de suas interseções isoladamente.

O HCM2000 considera como vias urbanas as vias arteriais e as vias coletoras, inclusive àquelas contidas em áreas centrais. Considera, ainda, que essas vias de áreas centrais possuem tráfego com movimentos de conversões nas interseções frequentemente superiores a 20%, isso porque essas vias possuem a característica de fluxo circulatório, o que contribui para o aumento desse percentual. Porém, o indicador do grau de mobilidade da via continua sendo a velocidade média de percurso. Como limitações, o manual apresenta algumas condições em que a metodologia pode não explicar diretamente, as quais podem ter significativo impacto sobre a velocidade do tráfego de passagem, cabendo ao analista adaptar a metodologia para incorporar esses efeitos. São elas:

- Presença de estacionamento;
- Densidade de acessos aos lotes;
- Faixas adicionais para acessar ou sair da via junto às interseções;
- Rampas entre as interseções;
- Qualquer restrição de capacidade entre as interseções;
- Existência de conversões ou retornos entre as interseções;
- Movimentos de conversões que excedam 20% do total do volume da via;
- Filas oriundas de interseção à jusante que possam interferir na interseção em análise; e
- Congestionamento em uma via transversal bloqueando o tráfego de passagem.

Ao contrário das versões anteriores, que apresentam toda a metodologia em um só capítulo, o HCM2000 apresenta a análise de vias urbanas em dois capítulos. No Capítulo 10 são apresentados os principais conceitos das características do fluxo de tráfego, como a velocidade de fluxo livre (VFL), a velocidade em movimento (*running speed*) e a velocidade de percurso (*travel speed*), além do conceito de NS como função da VFL. Apesar de já se tratar da metodologia de análise (ver Figura 1), o 1º Método também é apresentado no Capítulo 10, no qual é determinada a classe da via urbana a partir dos dados de categoria de projeto e funcional. Já no Capítulo 15 são apresentadas inicialmente definições sobre o “escopo” e as “limitações da metodologia”, alguns conceitos complementares como “tempo em movimento” e “atraso de controle”, além dos outros dois métodos: o 2º Método, que determina o NS a partir da VMP, da VFL e da classe da via; e o 3º Método, que estima a VMP por meio da modelagem do atraso nas interseções e do tempo em movimento. Assim, observa-se que o usuário do manual sente a falta de uma sequência lógica de apresentação de todo o conteúdo da metodologia. Isso causa uma certa confusão inicial para usuários do manual, como pode ser observado em discussões realizadas na comunidade técnica. Entende-se que ficaria mais didática e coerente a apresentação de todos os conceitos no Capítulo 10 e a metodologia completa no Capítulo 15.

Apesar dessas considerações, parece implícita a segregação da metodologia nos três métodos. Atenta-se também que o manual aborda de maneira diferente a forma de aplicação da metodologia. O que antes era a aplicação natural dos modelos de simulação da VMP e a adoção como alternativa da coleta desse valor em campo, agora os modelos de simulação têm importância semelhante como pode ser observado na forma de apresentação do fluxograma da metodologia por meio da Figura 1, embora se considere que essa realidade seja apresentada de forma bastante modesta. Apesar dessa mudança, identificou-se que a forma de apresentação sequencial do texto continua induzindo à utilização do 3º Método. Um exemplo desse fato é que no Capítulo 15, logo após o item que determina a classe da via (1º Método), é apresentada a definição e a forma de estimação do tempo em movimento, item necessário para a simulação da VMP (3º Método), induzindo à sua utilização. Entende-se que deveria existir maior destaque para que esse último método fosse utilizado somente em casos de impossibilidade de coleta de dados de campo, o que poderia ser feito ao longo de ambos os capítulos, quer seja textualmente ou na forma sequencial de apresentação.

No que se refere às alterações promovidas em cada um dos três métodos na versão 2000, pode-se resumir basicamente da seguinte forma: no 1º Método, a alteração foi no aumento do número de classes de vias; no 2º Método, os valores da VFL padrão para cada classe foram alterados para limites maiores, resultando em novos intervalos para cada NS; enquanto no 3º Método, a forma de determinação do atraso nas interseções semaforizadas e os novos valores padrões para o tempo em movimento foram alterados. Apresenta-se, a seguir, uma discussão conceitual específica para cada um dos três métodos.

### **3. ANÁLISE CONCEITUAL DO 1º MÉTODO - CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS**

Conforme analisado por Demarchi *et al.* (2004), esse método continua no HCM2000 com a mesma estrutura da versão de 1985, isto é, visa especificar uma categoria de projeto e uma categoria funcional e, por meio de uma classificação cruzada dessas informações, determinar a classe da via. A categoria funcional representa os conceitos da via em relação à malha viária existente, qualificando-a de acordo com os seus níveis de acessibilidade, de mobilidade e de conectividade, e com o tipo de viagem de que é composto o seu tráfego (longa ou média/curta distância). A categoria de projeto representa a via a partir dos seus dados físicos e operacionais, aqueles que interferem diretamente na fluidez do tráfego da via – como os

estacionamentos, a densidade semaforica, a conversão à esquerda, o limite de velocidade, a travessia de pedestres, o uso do solo, as quantidades de acessos aos lotes e a geometria da via.

A princípio, essa forma estrutural pode ser identificada de forma clara, até mesmo por serem apresentadas tabelas-resumos (ver Tabelas 1 e 2) que têm a finalidade de auxiliar a aplicação do modelo. Porém, observa-se que podem ocorrer enquadramentos diferentes, dependendo da análise de sensibilidade a ser realizada ou do nível de conhecimento da realidade por parte do engenheiro de tráfego responsável pela análise. Isso se deve à existência de variáveis subjetivas representando os critérios, como, por exemplo, os conceitos “muito importante” ou “importante” para a definição da função de mobilidade, que é um critério para a definição da categoria funcional. Essa mesma subjetividade aparece também na definição de alguns critérios da categoria de projeto. Acontece ainda nessa categoria que, quando surgem valores numéricos para também definir critérios, ocorrem superposições de valores. Um exemplo é um valor que pode assumir a variável do critério “velocidade”: 75 km/h. Esse valor tanto pode pertencer a uma via com característica de projeto de “alta velocidade” quanto para uma via com característica “suburbana”. Ora, assim, diferentes analistas poderão chegar a diferentes classificações. Embora essas subjetividades e/ou superposições possam existir na realidade de um conjunto de vias urbanas de uma determinada urbe, entende-se que deveriam existir critérios para pontuações e, conseqüentemente, eliminação dessas subjetividades.

**Tabela 1: Determinação da classe da via (HCM 2000)**

Categoria de projeto	Categoria funcional	
	Via Arterial Principal	Via Arterial Secundária
Alta velocidade	I	Não se aplica
Suburbana	II	II
Intermediária	II	III ou IV
Urbana	III ou IV	IV

Fonte: Tradução da Tabela 10-3 do HCM 2000 (TRB, 2000)

Da mesma forma, existem ambigüidades quanto à determinação da classe final da via, como se pode observar pela Tabela 2, mesmo que se considerem resolvidas as definições referentes às categorias funcionais e de projeto. Isso ocorre porque uma determinada via com categoria de projeto “urbana” e categoria funcional “arterial principal” pode ser enquadrada tanto como “Classe III” ou como “Classe IV”. No manual, sugere-se que a VFL seja considerada como critério para definição final da classe. Porém, entende-se que o procedimento poderia ser estabelecido de forma menos ambígua.

**Tabela 2: Determinação das categorias funcional e de projeto (HCM 2000)**

CRITÉRIO	CATEGORIA FUNCIONAL	
	Via Arterial Primária	Via Arterial Secundária
Função de mobilidade	muito importante	importante
Função de acessibilidade	secundária	substancial
Pontos conectados	vias expressas, importantes centros de atividades, pólos geradores de viagens	vias arteriais primárias
Tipos de viagens predominantes	viagens relativamente longas entre os pontos principais e tráfego de passagem entrando, saindo e cruzando a cidade	viagens de extensão mediana situadas em áreas geográficas relativamente pequenas

**Tabela 2:** Determinação das categorias funcional e de projeto (HCM 2000) (Cont.)

CRITÉRIO	CATEGORIA DE PROJETO			
	Alta velocidade	Suburbana	Intermediária	Urbana
Densidade de acessos aos lotes lindeiros à via	muito baixa	baixa	moderada	alta
Tipo de via	múltiplas faixas, com ou sem canteiro central, ou 2 faixas com acostamento	múltiplas faixas, com ou sem canteiro central, ou 2 faixas com acostamento	múltiplas faixas, com ou sem canteiro central, sentido único, 2 faixas	2 ou mais faixas, sem canteiro central, com sentido único ou duplo
Estacionamentos	não	não	alguns	significante
Faixas separadas para conversões à esquerda	sim	sim	usualmente	algumas
Densidade semafórica	0,3 a 1,2 sem./km	0,6 a 3 sem./km	2 a 6 sem./km	4 a 8 sem./km
Velocidade máxima permitida	75 a 90 km/h	65 a 75 km/h	50 a 65 km/h	40 a 55 km/h
Travessia de pedestres	muito pouca	pouca	alguma	usualmente
Adensamento do uso do solo do entorno	baixa densidade	baixa a média densidade	média a moderada densidade	alta densidade

Fonte: Tradução da Tabela 10-4 do HCM 2000 (TRB, 2000)

Vale observar também que existem quatro categorias de projeto: “Alta Velocidade, Suburbana, Intermediária e Urbana” e também quatro classes de vias: “I, II, III e IV”. Tem-se notado que é bastante comum essas condições induzirem a que se faça essa associação direta e sequencial das quatro classes de via com as quatro categorias de projeto. Mais precisamente, associa-se que uma via de Classe I seja sempre uma via de Alta velocidade, que uma via de Classe II seja sempre uma via Suburbana e assim por diante, enquanto, na verdade, isso não ocorre sempre. Um exemplo típico é uma via com categoria de projeto “Urbana” e categoria funcional “Arterial principal” poder ser classificada como “Classe III”, e associar-se, intuitivamente, que essa seria de “Classe IV”. Pois além de existirem quatro categorias e quatro classes de vias, observa-se facilmente que os critérios utilizados para a determinação da categoria de projeto são mais associados à classe final da via do que aqueles que determinam a categoria funcional. Os critérios como “geometria da via”, “presença de estacionamento” e “densidade semafórica”, dentre outros, são os primeiros critérios que intuitivamente se imagina quando se faz esse tipo de análise. Assim, essa associação pode facilmente levar a uma confusão em relação aos conceitos e, conseqüentemente, levar a uma análise incorreta.

#### 4. ANÁLISE CONCEITUAL DO 2º MÉTODO – SIMULAÇÃO DO NS

Essa parte da metodologia, que é apresentada no Capítulo 15 do HCM2000, considera a velocidade média de percurso (VMP) do tráfego de passagem como medida de desempenho para avaliar o nível de mobilidade nas vias urbanas. Essa velocidade é obtida a partir da soma do tempo em movimento nos segmentos e do atraso de controle sofrido nas interseções semaforizadas. Esse atraso considera o tempo de desaceleração, o tempo parado, o tempo de movimentação dentro da fila e o tempo de aceleração. A qualidade do tráfego é expressa por meio de seis classes, denominadas como Nível de Serviço (NS) operacional do corredor, representadas pelas letras de “A” a “F”. O NS “A” representa as melhores condições operacionais e o NS “F” as piores. Cada NS representa, indiretamente, a percepção dos motoristas quanto às condições de fluidez do tráfego de passagem. A segurança viária não se encontra incluída nas medidas que estabelecem esses NS (TRB, 2000).

O HCM2000 deixa registrado de forma clara que os valores de velocidade que limitam os seis NS são definidos a partir de percentagens da VFL. Os NS A, B, C, D, E e F são definidos como a condição em que a via ou os seus segmentos operam com velocidade média de percurso em torno de 90, 70, 50, 40, 33 e entre 33 e 25% da VFL, respectivamente. Os resultados dessa consideração são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Nível de serviço de vias urbanas (HCM2000)

Classificação da via	I	II	III	IV
Intervalo da velocidade de fluxo livre (km/h)	90 a 70	70 a 55	55 a 50	55 a 40
Velocidade de fluxo livre típica (km/h)	80	65	55	45
Nível de serviço	Velocidade média de percurso (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

Fonte: Tradução da Tabela 15-2 do HCM 2000 (TRB, 2000)

Pode-se observar que a Tabela 3 é utilizada para avaliar a qualidade do NS tanto de um segmento quanto da via como um todo, e que esse NS depende diretamente da classe da via e da velocidade média de percurso, quer seja coletada em campo ou estimada pelo 3º Método. Observa-se, ainda, que o valor da VFL é associada à classe da via. Porém, o manual recomenda que, na impossibilidade de determinação dessa velocidade em campo, o analista pode adotar a velocidade limite da via como sendo esse valor. Dessa forma, identifica-se um fato que pode gerar confusão durante a aplicação da metodologia: a sugestão de diferentes intervalos de valores de velocidade para as categorias de projeto e para as classes da via, como pode ser notado na comparação dos valores apresentados nas Tabelas 2 e 3. Isso ocorre porque, mais uma vez, associa-se categorias de projeto e local onde as velocidades limites estão apresentadas a classes de via, em que são expostos os valores para a VFL.

Ainda analisando a Tabela 3, nota-se que são utilizados os mesmos percentuais já citados em relação à VFL, para todas as quatro classes de vias na determinação dos valores limites de cada NS. Entretanto, deve-se considerar que os motoristas podem ter percepções diferentes em relação a VFL, dependendo da classe da via. Isso pode ser justificado pelo fato de o motorista achar mais aceitável submeter-se a uma redução de 50% na VFL numa via de Classe IV do que numa via de Classe II, por exemplo. Até mesmo porque, em termos de valores absolutos, a redução na velocidade é menor na via de menor classe (Classe IV). Assim, entende-se que poderiam existir percentuais diferenciados para cada classe ou para um conjunto de classes, buscando uma melhor representação da realidade.

Mesmo com esse aperfeiçoamento do modelo, que consideraria diferentes expectativas de níveis de serviço para cada tipo de classe de via, compreende-se que esses valores dos limites das classes dos NS podem variar ao longo do tempo. O crescimento da frota de veículos ao longo dos anos ou até mesmo uma mudança brusca de padrões e intensidade de fluxos de veículos em uma determinada cidade ou região pode estabelecer uma nova realidade de percepção dos usuários. A mudança de padrões pode fazer com que o motorista mude o seu conceito de NS para esses locais, passando a tolerar velocidades médias mais baixas em determinados trechos. Isso pode ser claramente notado, por exemplo, na diferença de percepção que os motoristas de Fortaleza têm atualmente do tráfego em uma determinada via em relação à percepção que tinham há dez anos, no que se refere a níveis de congestionamento, velocidades médias de percurso ou tempo de deslocamentos considerados

aceitáveis. Outro exemplo pode ser extraído da observação dessa mesma diferença de percepção entre os motoristas de uma megalópole como São Paulo e os motoristas de Fortaleza. O que é considerado NS “D” ou “E” para um motorista no trânsito de Fortaleza pode ser considerado ainda como NS “C” ou talvez até “B” para um usuário da malha viária de São Paulo.

## 5. ANÁLISE CONCEITUAL DO 3º MÉTODO – SIMULAÇÃO DA VMP

O terceiro método, que objetiva a simulação da velocidade média de percurso (VMP), é o mais complexo devido às inúmeras variáveis envolvidas e às considerações assumidas nos modelos de tráfego. A Equação 1 mostra como é determinada a VMP. Observa-se que essa equação é a aplicação de uma definição básica da cinemática: velocidade média é igual ao espaço percorrido dividido pelo tempo gasto para percorrer essa distância. Essa equação divide esse tempo em dois: o primeiro é o tempo do veículo em movimento; e o segundo o tempo gasto por ele parado nas interseções (atrasos).

$$VMP = \frac{3600E}{T_m + d} \quad (1)$$

onde:

*VMP* Velocidade Média de Percurso para o tráfego de passagem no segmento (km/h);

*E* Extensão do segmento (km);

*T<sub>m</sub>* Tempo em movimento total no segmento analisado (s);

*d* Atraso de controle nas interseções semaforizadas (tráfego de passagem) (s/ veíc.).

### 5.1. Parcela do Tempo em Movimento

O HCM2000 estima o tempo em movimento empiricamente por meio da classe da via, da VFL e do comprimento do segmento, como pode ser visto na Tabela 4. Nessa estimativa, é considerado que as variáveis presença de estacionamento, interferência de outros veículos e adensamento do uso do solo da região, que afetam o tempo em movimento, encontram-se agregadas à VFL, como é assumido em sua definição. Também é citado no manual que a presença de estacionamento, atrito lateral entre os veículos, adensamento do uso do solo na região, e tipo de uso da via podem afetar o tempo em movimento, ponderando-se, no entanto, que esses fatores já estão sendo considerados pela VFL. Porém, pela própria definição de VFL do HCM2000, o estacionamento e o atrito lateral não são percebidos, causando assim uma incoerência quanto aos conceitos apresentados. Além disso, existem outras condições que podem ocorrer entre as interseções semaforizadas que não são diretamente explicadas pela metodologia, conforme cita o manual. Pode-se apontar a presença ou não de estacionamento, densidade de acessos aos lotes, faixas adicionais nas interseções para acesso de entrada e saída de veículos no corredor, rampas ascendentes ou descendentes, qualquer restrição de capacidade entre as interseções, faixas para giros à esquerda no canteiro central entre as interseções, formação de fila em uma interseção interferindo na operação de interseções à montante, congestionamentos nas vias transversais bloqueando a via em análise. Diante desse cenário, deve-se ter a perfeita ciência dessas lacunas existentes na metodologia do HCM2000, que podem levar a uma superestimação do valor do tempo em movimento.

Observa-se, ainda, que quanto maior o tamanho do segmento (diminuição da densidade semafórica), menor é o tempo em movimento, já que existiriam menos interferências no tráfego devido às impedâncias causadas pelas interseções semaforizadas. Essa forma de variação, entretanto, é diferente para cada classe de via e para cada valor da velocidade de fluxo livre.



**Tabela 4:** Tempo em movimento por km no segmento analisado (HCM2000)

Classificação da via	I			II			III		IV		
VFL (km/h)	90 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>
Extensão média do segmento (m)	Tempo em movimento por quilômetro (s/km)										
100	b	b	b	b	b	b	-	-	-	129	159
200	b	b	b	b	b	b	88	91	97	99	125
400	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600	52	55	61	60	61	67	d	d	d	d	d
800	45	49	57	56	58	65	d	d	d	d	d
1000	44	48	56	55	57	65	d	d	d	d	d
1200	43	47	54	54	57	65	d	d	d	0d	d
1400	41	46	53	53	56	65	d	d	d	d	d
1600	40 <sup>c</sup>	45 <sup>c</sup>	51 <sup>c</sup>	51 <sup>c</sup>	55 <sup>c</sup>	65 <sup>c</sup>	d	d	d	d	d

Fonte: Tradução da Tabela 15-3 do HCM 2000 (TRB, 2000)

Notas:

- a) É aconselhável ter um valor estimado da velocidade de fluxo livre. Se isso não for possível, a tabela abaixo pode ser usada, assumindo os seguintes valores *default*:

Classe da Via	VFL (km/h)
I	80
II	65
II	55
IV	45

- b) Se a classe I ou II tem um segmento menor do que 400m, (a) reavaliar a classificação e (b) se permanecer um segmento distinto, usar os valores para 400m;
- c) Para segmentos longos nas classes I ou II (1600 m ou mais), a velocidade de fluxo livre pode ser usada para calcular o tempo de percurso por quilômetro;
- d) Do mesmo modo, vias urbanas classificadas nos grupos III e IV com extensão maior do que 400m deveriam, primeiro, ser reavaliadas (a classificação deveria ser confirmada). Se necessário, os valores acima de 400 m podem ser extrapolados.

Prassas (1999) avaliou os tempos em movimento propostos pelo HCM85 por meio de simulação e chegou às seguintes conclusões: a) os valores de velocidade em movimento obtidos por meio de simulação são pelo menos 10 km/h maiores que os valores padrões propostos pelo HCM; b) as estimativas de velocidade em movimento não decaem tão bruscamente quando os valores padrões do HCM relativos ao aumento da densidade semafórica; e c) os dados de tempo em movimento obtidos pela simulação são sensíveis ao aumento do volume de tráfego, o que não é considerado pelo HCM. Por fim, foi recomendado que os resultados obtidos a partir desse estudo fossem adotados como base para a revisão do HCM2000. Constata-se, contudo, que esses valores ainda continuam subestimados na versão 2000, como pode ser observado no seguinte exemplo. Prassas (1999) determinou que, para uma VFL de 70 km/h e uma densidade semafórica de 2,5 semáforos/km, encontra-se uma velocidade em movimento em torno de 60 km/h. Ora, para essa mesma VFL, encontra-se pelo HCM2000 o valor de 53,7 km/h para a velocidade em movimento, como pode ser obtido a partir da Tabela 4. Assim, entende-se que, para a própria realidade americana, os dados do tempo em movimento ainda estão superestimados, levando a uma subestimação da VMP.

## 5.2. Parcela do Atraso nas Interseções Semaforizadas

A forma de simulação do atraso nas interseções semaforizadas é dividida em três etapas: a primeira com a determinação do atraso uniforme (d1), a segunda com a determinação do atraso aleatório (d2) e a última com o atraso devido à fila de veículos remanescentes do ciclo anterior (d3), conforme a Equação 2. O termo “d” é denominado atraso de controle, incluindo o atraso devido à desaceleração, à movimentação na fila, ao tempo parado e à aceleração. Assim, não é mais necessária a conversão de atraso parado em atraso total como se fazia nas versões anteriores. Isso se deve ao fato de que a equação do atraso uniforme é também conhecida como o primeiro termo de Webster, que estima atrasos semafóricos já considerando todos esses fatores. O atraso uniforme é considera as chegadas sempre aleatórias e o fluxo

sempre estável. Esse modelo tem como base modelos de fila determinísticos que prevêem atrasos em sistemas não saturados.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (2)$$

Outro elemento que afeta o valor do atraso é a qualidade da progressão do corredor, que é considerado aplicando-se um fator de ajuste de progressão (PF). Esse fator afeta essencialmente o atraso uniforme, sendo por isso aplicado somente ao termo  $d_1$  e determinado por meio da definição de seis tipos de chegadas do fluxo de tráfego no semáforo. O PF reflete os efeitos da progressão no atraso da interseção e seus valores estão diretamente relacionados com o tipo de chegada dos veículos na interseção e com a proporção de verde para essa demanda. São definidos seis tipos de chegada, variando desde uma grande proporção de veículos chegando no início do vermelho (Tipo 1) até grandes proporções chegando no início do verde (Tipo 6), caracterizada esta última por excelentes qualidades de progressão. Esse fator é aplicado somente ao atraso uniforme, embora existam estudos que recomendem reduzir em 50% o atraso aleatório em condições favoráveis de progressão (Akcelik, 1988).

O tipo de chegada pode ser observado em campo ou estimado por diagramas espaço-tempo. Porém, a sua determinação deve ser precisa, pois isso influi significativamente na estimativa do atraso e do NS da via. Os valores de FP propostos pelo HCM2000 são os mesmos propostos pelas atualizações publicada em 1994 e em 1997. Benekohal e El-Zohairy (1999) estudaram os fatores de ajuste de progressão e concluíram que os atrasos determinados pelo HCM94 são significativamente diferentes dos atrasos coletados em campo para os tipos de chegada 1, 4 e 6, necessitando ser revisados. Apesar da recomendação ter sido feita antes da publicação do HCM2000, nota-se que ela não foi incorporada na nova versão, indicando dessa forma que o assunto deve ser melhor investigado, especialmente para as condições específicas das vias arteriais brasileiras.

Já o atraso aleatório ocorre devido à não uniformidade das chegadas dos veículos nas interseções pelas falhas nos controladores e também por existirem períodos em que a demanda supera a capacidade. A sua determinação depende do período de análise ( $T$ ), do grau de saturação ( $X$ ) e da capacidade ( $c$ ) da aproximação analisada, do tipo de controlador ( $k$ ) e do efeito da aproximação à montante na forma de chegada dos veículos ( $I$ ). Além disso, a formulação assume que toda a demanda foi atendida pelo tempo de verde do ciclo anterior, não restando assim fila inicial para o próximo ciclo, já que esse fato é abordado pelo  $d_3$ . Na Equação 3 é apresentada a forma de simulação do atraso aleatório.

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad \text{Eq. (3)}$$

Neste ponto, vale destacar a importância da calibração do parâmetro  $k$  para as condições inerentes ao controle semafórico local. Este parâmetro representa o efeito do tipo de controlador que é usado na operação da interseção no atraso aleatório. Em interseções operadas em tempo fixo, em que a forma de chegada dos veículos é aleatória, a descarga é constante e o valor de  $k$  é 0,50. Nos controladores atuados pelo tráfego, porém, essa descarga não é fixa, mas depende do ciclo e da proporção de verde selecionada, diminuindo com isso o atraso aleatório. Contudo, essa redução depende dos valores de extensão de verde e do grau de saturação da interseção. Maiores extensões se refletem em maiores tempos de verde, tornando a aproximação menos sensível à variação da demanda, assemelhando-se à operação de um semáforo de tempo fixo. O mesmo fenômeno ocorre quando o grau de saturação se aproxima de 1,0 (capacidade), com os valores de  $k$  convergindo para 0,5. O HCM, entretanto, não

considera situações de controle semafórico em tempo real; tentar aproximar tais situações pelo controle atuado pode ser um erro grave, especialmente quando o sistema não contempla extensões de verde, como é o caso do SCOOT. Reflexões análogas devem ser direcionadas também ao parâmetro *I*.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nos capítulos iniciais do HCM2000, onde são definidos os conceitos gerais que são válidos para todas as metodologias contidas no manual, identifica-se claramente que a finalidade primária do manual é de funcionar como uma ferramenta de simulação. Essa concepção busca responder questões do tipo “qual a oferta viária que suporta uma determinada demanda?” e “até quando isso acontece?”, caracterizando-se tipicamente com procedimentos de simulação. No que se refere à avaliação do cenário atual, o HCM registra que podem ser utilizados dados coletados em campo, porém de forma bastante discreta, enfatizando que o manual tem a capacidade de representar com precisão a situação real, estimulando dessa forma a utilização dos métodos de simulação. Observa-se ainda implicitamente no contexto que ao longo da evolução do manual foram dedicados pequenos esforços na avaliação de atributos de percepção do usuário. No manual é citado que o conceito de nível de serviço representa essa percepção, porém não comenta a forma como esse parâmetro foi identificado. Outro fato relevante é que o HCM2000 introduziu capítulos específicos para análises de corredores e de áreas, o primeiro sendo constituído por um conjunto de vias urbanas e o segundo contemplando uma rede fechada, demonstrando assim uma preocupação mais forte com a macro análise. Por fim, entende-se que o manual foi concebido também com objetivos de avaliação de alternativas e de análises de viabilidade econômica e de impactos ambientais, tendo uma grande aplicação na área de planejamento estratégico.

No que diz respeito à análise conceitual específica de cada um dos três métodos que compõem a metodologia de análise de vias urbanas do HCM2000, verificou-se no âmbito do 1º Método uma ausência de cuidados quanto à padronização de procedimentos para a escolha correta das variáveis dos critérios que determinam as categorias de projeto e as categorias funcionais. Por existirem algumas variáveis subjetivas, a escolha de um ou mais critérios com valores diferentes, que poderia ocorrer no caso da avaliação de um mesmo trecho por analistas diferentes, por exemplo, pode levar à determinação de classes diferentes para uma mesma via. Demarchi *et al.* (2004) propuseram uma planilha eletrônica que busca reduzir essa subjetividade na determinação da classe da via, sendo recomendado o seu uso como forma de melhorar a qualidade no processo de determinação da classe das vias analisadas.

Já no 2º Método, vale destacar a ausência de propostas ou sugestões sobre a metodologia de coleta dos dados da velocidade média de percurso em campo. Nos capítulos referentes à análise de vias urbanas, não é citada em nenhuma oportunidade a importância de se escolher corretamente as vias a serem analisadas, de se determinar o tamanho da amostra para cada via, ou de se especificar os procedimentos adequados para a coleta desses dados. Considera-se esse planejamento fundamental para uma correta determinação da VMP e uma precisa avaliação do NS do trecho em estudo, como destacado por Loureiro *et al.* (2004). Sente-se também a ausência de comentários sobre como se encontra associada a percepção do motorista com relação à qualidade do tráfego e sua relação com a velocidade de fluxo livre, já que esse método estabelece uma relação entre o nível de serviço de operação da via e uma porcentagem da VFL da via.

Quanto ao modelo de simulação representado pelo 3º Método, deve-se enfatizar que sua aplicação é apropriada para locais, situações ou cenários em que a coleta de dados de velocidade média de percurso dos segmentos/trechos não seja viável, quer seja por limitações

financeiras ou pela real impossibilidade, no caso de ser uma nova via, ou por outro motivo relevante. Essa recomendação é feita de forma bastante leve no HCM2000 e pondera-se que, diante das inúmeras considerações assumidas pelo modelo, essa ênfase deve ter um maior destaque, sob pena de não se estimar de forma apropriada a VMP e, conseqüentemente, o NS das vias urbanas.

Ainda com relação ao 3º Método, de forma geral, pode-se observar que a equação do atraso proposto pelo HCM2000 vem evoluindo por meio de várias pesquisas de autores variados desde a década de 50. Grandes esforços foram realizados por vários estudiosos do assunto com o objetivo de aproximar cada vez mais o modelo ao cenário real. Porém, não se deve esquecer que apesar de toda essa evolução ao longo das várias versões do manual, o modelo tem sido calibrado para a realidade americana; a sua utilização em outros cenários, como a realidade brasileira, deve ser investigada com o mesmo afincio. Recomenda-se a utilização de dados do tráfego local para que se possa obter resultados mais precisos e confiáveis.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio financeiro do CT-Transporte e do CNPq. Os autores também agradecem à Autarquia Municipal de Trânsito, Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) pela cooperação em algumas etapas do trabalho.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Akcelik, R. (1988) *The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections*. ITE Journal, vol.58, n.3, p.23-27.
- Benekohal, R.F. e El-Zohairy, Y.M. (1999) Progression Adjustment Factors for Uniform Delay at Signalized Intersections. Transportation Research Record 1678, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p.32-41.
- Demarchi, S. H, Loureiro, C. F. G., Setti, J. R. A. (2004) Análise do método do HCM2000 para a Classificação de Vias Urbanas Brasileiras. Comunicações Técnicas (CD-ROM) do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis, SC.
- Gasparini, R., (2002). Análise da Adequabilidade do HCM para o Estudo de Vias Urbanas. Dissertação de Mestrado, Publicação TU.DM-05 A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94 p.
- Kittelson W. K. (2000). Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service. *Transportation Research Board - TRB, National Research Council - ransportation Research Circular EC018: 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii June 27 – July 1, 2000.*
- Loureiro, C. F. G.; Paula, F. S. M.; Sousa, D.D.M.R.; Maia, F.V.B. (2004) Avaliação da Qualidade do Tráfego nas Vias Arteriais de Fortaleza utilizando o *Highway Capacity Manual 2000*. Comunicações Técnicas (CD- ROM) do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis, SC.
- Paula, F. S. M. (2006). Proposta de Adaptação da Metodologia do *Highway Capacity Manual 2000* para Análise de Vias Arteriais Urbanas em Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 158 fl.
- Prassas, E.S. (1999) *Improving the Running Time in Highway Capacity Manual Table 11-4; Related Observations on Average Travel Speed*. Transportation Research Record 1678, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p.9-17.
- TRB (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

**suliano.mesquita@amc.fortaleza.ce.gov.br**

Engenheiro de Transportes, MSc  
Autarquia Municipal de Trânsito – AMC  
Divisão de Engenharia – DIENG  
Avenida Borges de Melo, 1677, Bloco Anexo, Parreão  
CEP: 60.055-402 – Fortaleza -CE  
Fone: (85) 3488-5724, Fax: (85) 3488-5736

**felipe@det.ufc.br**

Professor Adjunto, PhD  
Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia de Transportes  
Campus do Pici, Bloco 703  
CEP: 60.455-760 Fortaleza -CE  
Fone/Fax: (85) 3366-9488