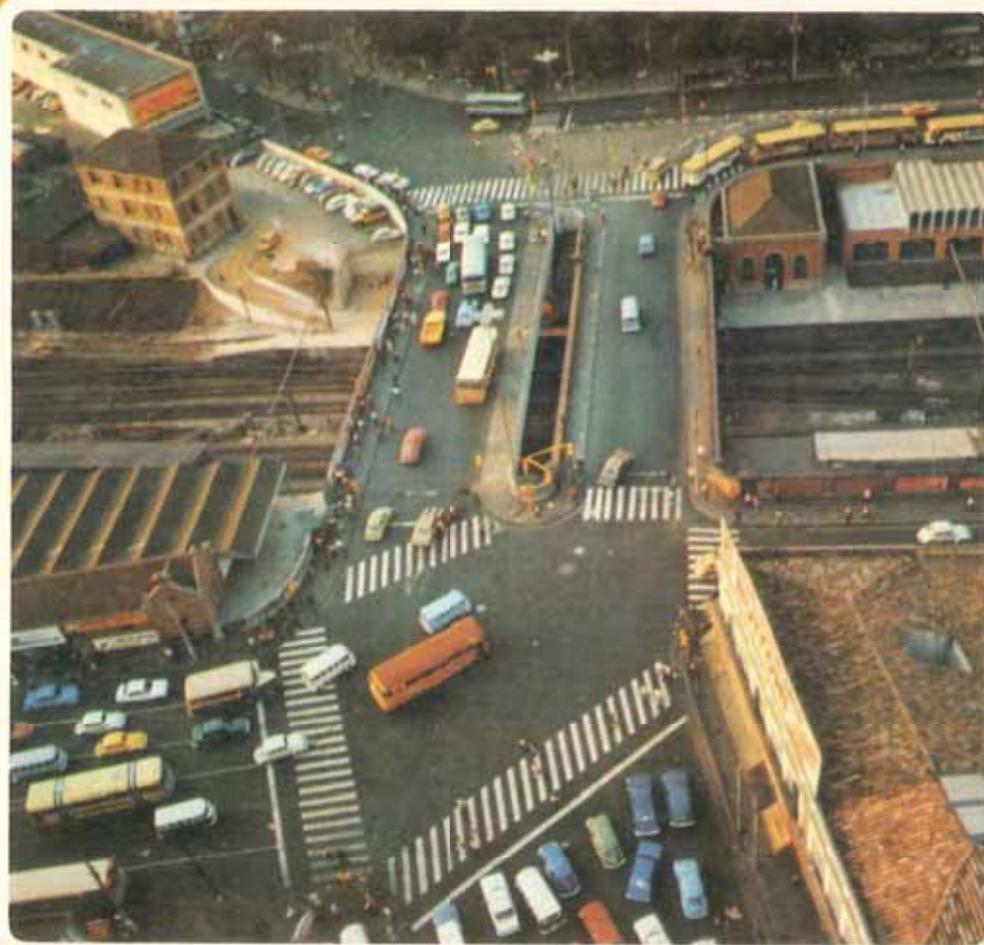




COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO  
boletim técnico



métodos para cálculo da capacidade  
de interseções semaforizadas

16

**métodos para cálculo da capacidade  
de interseções semaforizadas**

Some Marky

Ficha Catográfica

VASCONCELLOS, Eduardo A. de — 1950

Métodos para cálculo da capacidade de Interseções semaforizadas.  
São Paulo. Companhia de Engenharia de Tráfego — 1973.

122 p. il. (Série: Boletim Técnico da CET n.º 16)

1. Tráfego Urbano. 2. Interseções Semaforizadas — Métodos para Cálculo. 3. Engenharia de Tráfego.

I. Título II Série.

Boletim Técnico da CET nº 16

**métodos para cálculo da capacidade  
de interseções semaforizadas**

---

Eduardo Alcantara de Vasconcellos

Companhia de Engenharia de Tráfego 

Este trabalho foi elaborado e publicado pela  
Companhia de Engenharia de Tráfego — CET,  
por solicitação e autorização do Departamento  
de Operações do Sistema Viário do Município  
de São Paulo — DSV.

**Publicação da  
Companhia de Engenharia de Tráfego — CET**

Presidente

Eng.º ROBERTO SALVADOR SCARINGELLA

Diretor Técnico

Eng.º ELMIR GERMANI

Diretor Administrativo e Financeiro

Eng.º NEANDER DE CAMPOS KERR

Superintendente de Engenharia de Tráfego

Eng.º CARLOS EDUARDO FEGYVERES

Av. Nações Unidas, 7163  
05477 — São Paulo — SP

A série Boletim Técnico objetiva a divulgação de estudos e projetos relativos ao binômio Tráfego-Transporte, realizados pela Equipe Técnica da Companhia de Engenharia de Tráfego e, eventualmente por outras entidades, quando consideradas relevantes.

Acreditamos na sua importância, não apenas por se tratar de um eficiente meio de divulgação, mas, principalmente, por se constituir em fonte de subsídios a todos que atuam ou necessitam de informações nesta área, tão carente de bibliografia especializada em língua portuguesa.

Eng. Roberto Salvador Scaringella.

## **índice**

- 1 introdução**
  - 2 capacidade**
  - 3 métodos de cálculo de capacidade**
  - 4 caso especial: tratamento de conversão à esquerda**
  - 5 comentários finais**
  - 6 anexos**
-

1

---

**introdução**

O semáforo tem o objetivo de proporcionar segurança e fluidez à operação do tráfego de uma interseção, causando o menor atraso\* possível aos veículos envolvidos.

Deve ser implantado de acordo com critérios quantitativos e qualitativos que justifiquem tal procedimento, como consequência natural do agravamento das condições de segurança e fluidez da interseção, em função do aumento do volume de tráfego.

Uma vez implantado, torna-se necessário dividir o direito de passagem pela interseção através de tempos verdes que ocasionem o menor atraso possível para os veículos envolvidos; um semáforo mal regulado também fará passar o volume de tráfego que solicita o cruzamento, mas causará um atraso maior, com evidentes perdas econômicas.

Assim sendo, para estudar o problema, é necessário analisar a interseção em relação a vários fatores, dentre os quais se destaca a capacidade da mesma, ou seja, a quantidade de veículos que ela consegue liberar na unidade de tempo, dentro das condições predominantes. Para a análise desta capacidade, muitos métodos vêm sendo empregados em todo o mundo.

---

\* Atraso: tempo gasto a mais para passar pela interseção, com relação ao tempo que seria gasto se não houvesse nenhum impedimento.

Partindo das constatações mais simples, ou seja, de que a largura, juntamente com o volume de tráfego que deseja passar por esta via (demanda), está ligada ao tempo de verde necessário para escoar este volume, os estudiosos de engenharia de tráfego foram progressivamente sofisticando os métodos de análise de capacidade, através da incorporação de outros fatores determinantes.

Este trabalho tem o objetivo de mostrar os fundamentos de alguns dos métodos existentes, discutindo sua aplicabilidade às condições brasileiras e, conseqüentemente, procurando auxiliar na determinação de fatores que poderiam ser levados em consideração quando da tentativa de se criar um método essencialmente brasileiro, infelizmente ainda inexistente.

Dentre os vários métodos conhecidos, escolhemos aqueles que são mais utilizados na prática atual da engenharia de tráfego, discutidos numa ordem cuja estrutura é fundamentalmente didática, de acordo com o objetivo acima citado, embora dispostos numa seqüência que se poderia classificar como de "complexidade crescente".

Os métodos abordados são os seguintes, na ordem em que aparecem neste trabalho:

1. método que chamaremos de "gráfico" ou das "probabilidades de desempenho";
2. método do livro **Highway Capacity Manual** (ref. 5), que chamaremos de HCM;
3. método do livro **Traffic Signals** (ref. 1), que chamaremos de Webster; e
4. método do livro **Carrefours a Feux** (ref. 4), que chamaremos de SETRA.

Conforme salientado no item 5, "Comentários Finais", são todos úteis para aplicação no Brasil, bastando saber tirar as vantagens que oferecem, de acordo com a situação apresentada.

Incluímos, nos Itens 3.3.6, 3.4.6 e 4, alguns dados úteis para o cálculo mais aperfeiçoado de situações complexas que ocorrem com freqüência nas cidades de grande porte.

Não é objetivo deste trabalho discutir problemas de implantação e operação dos semáforos\*\*; no entanto, devido à importância de certos conceitos básicos, fornecemos no item 6 (anexos) critérios gerais de operação dos mesmos, além de alguns dados sobre o comportamento dos veículos, que nos pareceram imprescindíveis à análise que se pretende realizar.

\*\* Para estes critérios, ver CET — **Manual de Sinalização Urbana - Normas de Projeto**, vol. 6, "Sinalização Semafórica" (disponível no CDI da CET).

2

---

capacidade

## 2.1 Definições e aspectos gerais

A capacidade de uma via pode ser definida como o número máximo de veículos que ela pode liberar na unidade de tempo, dentro das condições predominantes da via, do tráfego e ambientais.

É, portanto, uma taxa e não uma quantidade, expressa em termos de "veículos por hora" (no caso de fluxo ininterrupto ou contínuo) e de "veículos por hora de tempo verde" (no caso de fluxo interrompido por semáforo).

As condições mencionadas influenciam o valor da capacidade e sua enumeração, quando da discussão do valor da mesma, é fundamental. Não tem sentido, por exemplo, dizer-se que a "capacidade de uma via expressa é de 7.800 veículos por hora", sem que se especifique sob quais condições de via e de tráfego este valor foi observado.

Para o caso de fluxo ininterrupto\*, as condições que normalmente influenciam o valor da capacidade são o alinhamento, a declividade, a

---

\* **Fluxo ininterrupto:** condição de circulação segundo a qual os veículos não são impedidos de circular a não ser por fatores internos à corrente de tráfego. Para maiores detalhes, ver ref. 12.

velocidade, a densidade do tráfego, o tipo de veículo etc. No caso de fluxo interrompido\*, que é o objeto desse trabalho, algumas destas condições permanecem, surgindo outras mais especificamente ligadas à interseção em si, como os movimentos de conversão, a presença de veículos estacionados etc. E, dentre elas, a mais importante de todas, que caracteriza a interrupção do fluxo: o semáforo.

Atuando sobre o tráfego, o semáforo periodicamente interrompe a corrente de veículos, para depois de certo tempo liberá-la novamente, num efeito cíclico de interrupção-liberação. A capacidade de uma via interrompida por um semáforo é determinada, portanto, pelo tempo de verde oferecido pelo semáforo que a controla: quanto mais verde, mais veículos liberados; quanto menos verde, menos veículos liberados.

Assim, é inútil falarmos em "capacidade por hora" de uma aproximação, já que este valor pode variar se variar o tempo verde; é inútil também comparar dados deste tipo referentes a aproximações distintas.

Baseado nesta necessidade de criar um padrão de medida que permita a comparação de capacidades para fluxo interrompido é que se procurou definir um novo conceito. Surgiu então a "capacidade por hora de tempo verde", ou seja, a capacidade da aproximação caso o semáforo estivesse aberto o tempo todo (uma hora), e o fluxo fosse igual ao máximo possível (capacidade/saturação). Seria o equivalente a "eliminar" o semáforo, transformando o fluxo em ininterrupto. Assim sendo, afirmar que a capacidade por hora de tempo verde de uma determinada aproximação é de 5.000 veículos, significa afirmar que esta aproximação, se permanecesse sob luz verde durante 60min, acomodando o fluxo máximo, conseguiria liberar 5.000 veículos. Este dado, conforme se vê, poderia ser comparado com o de qualquer outra aproximação da qual se soubesse a capacidade por hora de tempo verde. Por outro lado, se a esta aproximação é dedicado um tempo verde equivalente a 65% do tempo de ciclo, a capacidade da mesma, **por hora corrida**, será de  $5.000 \times 0.65$  ou seja, 3.250 veículos, dado que não tem valor para efeito de comparação com o de outra aproximação.

Os métodos mais aperfeiçoados, portanto, utilizam a "capacidade por hora de tempo verde" como conceito fundamental\*\*, analisando-a e comparando-a com dados de outras aproximações e/ou interseções.

\* Fluxo interrompido: condição de circulação segundo a qual os veículos são impedidos de circular por fatores externos à corrente de tráfego (semáforo etc.).

\*\* O método do Highway Capacity Manual (ref. 5) também utiliza este conceito, mas de uma forma mais ampla, no tocante ao fluxo liberado durante a "hora de tempo verde" conceitual. Ver item 32.1.b.

Neste campo da engenharia de tráfego, a atividade pode concentrar-se em duas áreas: o cálculo puro e simples do tempo verde necessário para liberar a demanda presente ou a "análise" da capacidade, ou seja, o estudo do que a via pode oferecer em termos de capacidade, como um diagnóstico da situação e das possibilidades de ajuste às necessidades do tráfego.

Os métodos mais simples limitam-se ao primeiro procedimento, enquanto os mais aperfeiçoados abordam tanto o cálculo quanto a análise.

## 2.2 Fatores determinantes

Conforme salientado na introdução deste trabalho, são muitos os fatores que determinam e/ou interferem no valor da capacidade de fluxo interrompido, sendo que eles foram sendo incorporados aos métodos de análise da capacidade, à medida em que foram evoluindo as pesquisas.

Discutimos, a seguir, os principais fatores, salientando que nem todos são comuns aos métodos discutidos; o primeiro método, por exemplo, não utiliza quase nenhum destes fatores.

Nossa intenção, no caso, é dupla: em primeiro lugar, oferecer uma visão a mais global possível destes fatores, para facilitar a comparação dos métodos; em segundo lugar, sendo muitos deles comuns à maioria dos métodos discutidos, evitar a repetição de sua análise, quando da discussão destes métodos, limitando-nos então a fornecer os coeficientes de correção decorrentes.

Os fatores, de maneira geral, são:

a — Relativos à capacidade da aproximação:

- largura da aproximação;
- demarcação das faixas de rolamento;
- presença de veículos estacionados;
- existência de manobras para estacionar;
- localização da interseção dentro da cidade;
- população da cidade;
- declividade da aproximação;
- presença de ônibus locais (com ponto de parada);
- tempo verde dedicado à aproximação;
- tipo de circulação imposto à via;
- existência de valeta de drenagem; e
- condições atmosféricas.

b — Relativos ao volume de tráfego (demanda):

- composição do tráfego;
- movimentos de conversão à direita e à esquerda; e
- variação horária da demanda.

a1 — Largura da aproximação

É o principal fator determinante da capacidade, ligada a ela de maneira diretamente proporcional: quanto maior a largura, maior a capacidade.

Nos cálculos, pode ser utilizado de duas maneiras:

- indiretamente, através do número de faixas (1) demarcadas por meio de sinalização horizontal ou (2), aventadas em função da largura da aproximação e de uma largura-base de faixa. Em ambos os casos, a utilização é insatisfatória, pois (1) os motoristas nem sempre respeitam a demarcação, principalmente quando divide vias de largura não múltipla de 3m (11m por exemplo), em faixas excessivamente largas e (2), ao avertar o número de faixas, é sempre necessário estipular uma largura-base para a faixa, largura esta que pode variar. Sendo a largura em metros mais representativa da capacidade, conforme visto a seguir, uma aproximação de 10m de largura terá uma capacidade superior à outra com 9m de largura, embora as duas, em ambos os casos discutidos acima, fossem divididas em três faixas.
- diretamente, através da sua dimensão em metros. Provou-se ser esta a forma mais representativa da capacidade da aproximação, utilizada nos métodos mais aperfeiçoados.

Nestes casos, ela é geralmente medida da guia até a linha divisória de fluxos opostos (mesmo que imaginária), para vias de sentido duplo de circulação e de guia à guia, nos casos de via de sentido único de circulação.

Normalmente, em ambos os casos, conta-se também o espaço ocupado por filas de veículos estacionados, efeito que é corrigido posteriormente.

A capacidade, nos métodos que a discutem, aparece normalmente como proporcional à largura da aproximação, em "veículos por hora de tempo verde, por metro de largura".

OBS.: Em algumas aproximações altamente solicitadas, a demarcação de faixas de trânsito pode disciplinar melhor a utilização da mesma, conseguindo um aumento de capacidade. Analoga-

mente, a remarcação das faixas com larguras menores, a fim de conseguir um número maior de faixas, pode também conseguir aumentos de capacidade. Este último caso vem sendo pesquisado pela CET (projeto MULV — "melhor utilização do leito viário"), tendo a primeira experiência sido feita na Rua Groenlândia, em seu cruzamento com a Av. 9 de Julho, na zona sul de São Paulo. Das três faixas de 3,20m cada, existentes, passou-se a quatro faixas de 2,40m cada, em três estágios: (1) demarcação das novas faixas através de cones de borracha; (2) retirada dos cones e pintura das linhas demarcadoras das novas faixas e (3) colocação de taxas pequenas sobre as linhas demarcadoras, para desestimular a mudança de faixa. Através de uma pesquisa "antes e depois", verificou-se que, após o primeiro passo, a dificuldade de posicionamento dos veículos devido aos cones, aliada à curiosidade dos motoristas, impediu que se obtivessem resultados satisfatórios, e não foram levantados os histogramas de fluxo. Após o segundo passo, constatou-se um aumento de 9,33% na capacidade por hora de tempo verde, com relação à capacidade original, relativa a três faixas (passou de 5.400 para 5.900 veículos por hora de tempo verde). Após o terceiro passo, constatou-se o aumento de 13,33% na capacidade por hora de tempo verde (de 5.400 para 6.120 veículos por hora de tempo verde). Deve-se ressaltar, no entanto, que nesta via não há ônibus e os veículos comerciais aparecem em pequena porcentagem.

#### a2 — Efeito de veículos estacionados

Uma fila de veículos estacionados diminui a largura disponível para o trânsito, reduzindo consideravelmente a capacidade da aproximação. A interferência é sempre superior ao espaço físico ocupado pelos veículos, dado o efeito de "atrito lateral", que faz com que os veículos em circulação mantenham certa distância dos estacionados. Esta distância é maior ou menor, de acordo com o grau de utilização da aproximação: numa via muito larga, com volume baixo de veículos, estes circularão a grandes distâncias dos estacionados e a perda de largura será bastante superior ao espaço físico ocupado pelos últimos; por outro lado, numa via mais estreita e bastante solicitada, os veículos em circulação aproximar-se-ão mais dos estacionados, reduzindo a perda.

O efeito dos veículos estacionados pode aparecer de duas maneiras: implícito nos gráficos que dão o valor da capacidade (método HCM) ou em termos de "perda de largura útil" (métodos Webster e SETRA). Além disso, há sempre uma condição que define o que seja uma aproximação "com" ou "sem" estacionamento, em termos da dis-

tância da linha de retenção até o primeiro veículo estacionado, já que, a partir de certa distância, a influência se torna desprezível.

### **a3 — Efeito de manobras para estacionar**

Os veículos que manobram para estacionar diminuem a capacidade da aproximação, por constituírem-se em obstáculos à livre circulação do tráfego. Este efeito é bastante significativo no caso de uma "zona azul" (estacionamento rotativo pago). No único método que aborda este efeito (SETRA), ele aparece em termos de "perda de largura útil", sempre dentro de uma distância máxima da linha de retenção para que se considere seu efeito.

### **a4 — Efeito da localização**

Devido ao tipo de uso de solo, que determina as necessidades de transporte, bem como ao nível das interferências existentes na livre circulação, a capacidade de uma aproximação depende de sua localização dentro da cidade. A capacidade de uma aproximação da área central, por exemplo, é inferior à de outra localizada numa zona residencial, dado o maior número de interferências existente na primeira com relação à segunda (operações constantes de carga e descarga, grande número de pedestres, movimentos constantes em torno das quadras, estacionamento irregular etc.).

O efeito de localização aparece de acordo com o tipo de zona pre-estabelecido (método HCM) ou em termos de "qualidade" da localização (métodos Webster e SETRA), sempre como fator de correção da capacidade.

### **a5 — Efeito de população**

Devido à diferença de comportamento observada entre motoristas de cidades de tamanhos diferentes, a capacidade das aproximações destas cidades também é diferente. O motorista de uma metrópole, por exemplo, é mais afoito, tanto pelo nervosismo natural quanto pelo fato de precisar vencer grandes distâncias no menor tempo possível; o motorista de uma cidade pequena, por outro lado, reage mais lentamente à abertura do verde e circula com mais tranqüilidade. Assim sendo, a capacidade de uma aproximação situada numa metrópole é normalmente superior à de outra situada numa cidade pequena do interior.

O efeito da população local, nos métodos que o analisam, entra na forma de coeficiente de correção da capacidade.

#### a6 — Efeito da declividade

Sendo os valores da capacidade determinados em função de aproximações planas, a existência de declividade altera estes valores: a capacidade de uma aproximação em "subida" é inferior à de uma aproximação plana, enquanto que a de uma em "descida" é superior.

Os métodos que analisam estes fatores apresentam coeficientes de correção da capacidade, de acordo com a porcentagem da declividade.

#### a7 — Efeito de ônibus locais

Os ônibus locais, ou seja, que param em pontos localizados nas proximidades da interseção, diminuem a capacidade da aproximação envolvida, pelo bloqueio que causam à livre circulação. Este efeito depende basicamente da distância do ponto à interseção, bem como do número de ônibus. É evidente que, quanto maior o número de ônibus e quanto mais próximo o ponto da interseção, maior será a perda de capacidade.

O único método que aborda este efeito (HCM) apresenta coeficientes de correção do volume de serviço "básico".

#### a8 — Efeito do tempo de verde

A capacidade de uma aproximação para liberar veículos, conforme comentado anteriormente, depende do tempo de verde dedicado a ela: quanto mais verde, mais veículos liberados; quanto menos verde, menos veículos liberados.

Assim sendo, para a determinação da capacidade horária de uma aproximação, é fundamental saber qual o tempo verde, dentro do ciclo, dedicado a ela. Este aparece, normalmente, como porcentagem do ciclo, para facilitar os cálculos e as comparações (embora tenha a vantagem adicional de adaptar-se às máquinas controladoras eletromecânicas, cujas engrenagens de marcação de fases são divididas em 100 partes).

#### a9 — Efeito do tipo de circulação imposto à via

A experiência prática provou que geralmente as vias de sentido único de circulação têm capacidade superior às de sentido duplo. Isto se deve principalmente aos seguintes fatores:

- \* nas interseções, o número de pontos de conflito \* reduz-se bastante quando as vias têm sentido único; as conversões à esquerda, principalmente, são as mais beneficiadas e, com elas, a capacidade da

\* Ponto de conflito: interseção de duas trajetórias possíveis dos veículos.

aproximação afetada. Analogamente, diminuem os conflitos entre pedestres e veículos; e

- diminui o efeito de "atrito lateral", já que a distância mantida entre dois veículos que circulam no mesmo sentido pode ser menor do que aquela entre dois veículos que circulam em sentidos opostos.

A vantagem, de uma maneira geral, é bastante acrescida quando a largura da via dá um número ímpar de faixas, pois a faixa "do meio" é geralmente mal aproveitada no caso de mão dupla.

O efeito do tipo de circulação imposto à via pode estar implícito nos gráficos de volume de serviço (método HCM), como ser utilizado de forma indireta, ao adotar-se, no caso de via de sentido duplo de circulação, somente a largura da aproximação propriamente dita, referente a um sentido (métodos Webster e SETRA), tomada da guia até a linha divisória de fluxos opostos.

#### **a10 — Efeito de valeta de drenagem**

As valetas de drenagem, muito comuns na cidade de São Paulo e em muitas cidades brasileiras, diminuem a capacidade na medida em que obrigam a uma redução da velocidade dos veículos, imediatamente após sua saída com a luz verde.

Infelizmente, nenhum dos métodos discutidos neste trabalho levou em consideração este fator, embora deva salientar-se que em cidades planas este problema geralmente não aparece, além do fato de que, ao semaforizar uma interseção que possua valetas de drenagem, as mesmas possam ser eliminadas ou suavizadas.

Acreditamos que o efeito da valeta de drenagem seria imprescindível quando do estudo de um método essencialmente brasileiro, dada a freqüente impossibilidade ou dificuldade de remoção das mesmas.

#### **a11 — Efeito das condições atmosféricas**

Condições atmosféricas adversas (chuva, neblina etc.) diminuem a capacidade das aproximações, na medida em que reduzem a visibilidade e forçam um trânsito mais lento e cuidadoso. Infelizmente, nenhum dos métodos discutidos analisa este fator, embora em alguns deles seja citada a importância do mesmo (e lamentada a ausência de dados a respeito).

OBS.: Na bibliografia de que dispomos, não há referência alguma a fatores de correção para estas condições adversas.

Deve-se ressaltar, no entanto, que estes fatores só teriam utilidade, no tocante à possibilidade de levá-los em consideração

no cálculo, quando as condições atmosféricas adversas fossem previsíveis e constantes num determinado local; isto ocorre, normalmente, em rodovias, para as quais o conhecimento da influência da neblina, por exemplo, seria de grande utilidade.

**b1 — Demanda presente na aproximação — efeito da composição do tráfego**

O volume de tráfego que solicita a aproximação (demanda) é fator primordial na determinação do tempo verde necessário para escoá-lo.

Esta demanda, no entanto, nunca é composta somente de veículos "leves" (automóveis particulares), sendo freqüente a presença de caminhões, ônibus diretos, motocicletas, bicicletas etc. Desta forma, adotando-se como veículo mais freqüente o "leve", torna-se necessário corrigir o efeito que os veículos "pesados" (lentos) ou de duas rodas causam, pela sua maior ou menor lentidão e/ou manobrabilidade: um veículo "pesado" (caminhão, ônibus) é maior e mais lento que um veículo de passageiros, assim como uma bicicleta ocupa muito menos espaço que estes.

Este efeito pode entrar na forma de coeficiente de correção da capacidade (método HCM), em função da porcentagem de veículos "pesados" ou na forma de "veículos leves equivalentes" (métodos Webster e SETRA), aplicado a cada veículo "pesado" ou de duas rodas.

OBS.: Variação horária da demanda (fator de pico horário).

A demanda que solicita a aproximação nunca é constante ao longo de toda a hora. Variações nesta demanda podem produzir "picos" acentuados, que alteram as condições da interseção e provocam congestionamentos inesperados. Para evitar estas situações, levam-se em consideração estas variações, o que é feito através do "fator de pico horário — FPH", proposto pelo método do HCM. Ele é uma medida da consistência da demanda.

**b2 — Efeito das conversões**

Conversão à direita:

O veículo que vira à direita afeta a capacidade na medida em que ele é normalmente mais lento que o veículo que vai em frente. Esta influência depende, entre outros fatores, da largura da via (quanto mais estreita maior será o efeito para os veículos que vão em frente), do raio de curvatura do movimento e do fluxo de pedestres que atravessa a via transversal na qual o veículo que vira vai entrar. Este efeito pode aparecer em termos de correção da capacidade (métodos

HCM e Webster), como em termos de "fator de equivalência com relação ao veículo que vai em frente" (método SETRA).

Conversão à esquerda:

O veículo que vira à esquerda na interseção afeta a capacidade na medida em que ele é normalmente mais lento que o veículo que vai em frente.

Quando existe tráfego oposto, a influência aumenta consideravelmente, chegando muitas vezes a tornar obrigatória a acomodação deste movimento em faixas e/ou fases especiais.

No caso de existir tráfego oposto, o movimento à esquerda não só retarda os veículos que desejam ir em frente, como inibe o uso da faixa lateral (usada pelos que querem virar) pelos mesmos, além de retardar o início da fase da transversal, devido aos veículos que permanecem no meio da interseção ao final do verde, esperando espaço para virar.

A influência do movimento de conversão depende, entre outros fatores, da largura da aproximação (quanto mais estreita, maior será o efeito sobre os veículos que vão em frente), da existência ou não de faixa especial (exercendo ou não influência no tráfego que vai em frente), da existência ou não de tráfego oposto, do raio de curvatura do movimento, do fluxo de pedestres que atravessa a transversal, na qual o veículo que vira vai entrar (bem como da largura desta) etc.

Este efeito aparece ou como fator de correção da capacidade (métodos HCM e Webster) ou em termos de "fator de equivalência com relação ao veículo que vai em frente" (método SETRA).

**3**

---

**métodos de cálculo de capacidade**

### **3.1 Método gráfico (das "probabilidades de desempenho")**

#### **3.1.1 Caracterização geral**

O método que chamaremos de "gráfico" permite, basicamente, a avaliação das "probabilidades de desempenho" (probabilidade de esgotar a fila) de tempos verdes calculados ou então o cálculo destes tempos, baseado numa probabilidade desejada.

O método original, apresentado por Bellis \*, tinha todas as determinações baseadas numa probabilidade de 95%, que significa uma alta qualidade de operação, nem sempre possível de obter-se; posteriormente, Davidson \*\* apresentou o mesmo método, mas ampliado para várias probabilidades de desempenho. O método de Davidson, um pouco modificado, é o apresentado neste trabalho.

---

\* W. R. Bellis, "Capacity of Traffic Signals and Traffic Signal Timing", **Highway Research Board**, Bulletin n.º 271, EUA, 1960.

\*\* Bruce M. Davidson, "Traffic Signal Timing Using Probability Curves", **Traffic Engineering XXXII**, n.º 2, EUA, 1961.

### 3.1.2 Procedimentos possíveis

Este método permite três procedimentos:

- a — verificação das probabilidades de desempenho de tempos verdes calculados através de relações simples de largura e demandas;
- b — determinação dos tempos de verde, de acordo com uma probabilidade escolhida e um valor tentativo para o ciclo (processo iterativo); e
- c — determinação dos tempos de verde, de acordo com uma probabilidade escolhida, mas com o comprimento do ciclo obtido numa tabela especial.

No caso do procedimento **a**, os tempos de verde precisam ser conhecidos, calculados por um processo simples qualquer, o mesmo acontecendo com o ciclo.

No caso do procedimento **b**, não é preciso conhecer nada previamente, bastando escolher a probabilidade desejada e arriscar valores de ciclo.

No caso do procedimento **c**, é necessário conhecer o ciclo.

Assim sendo, fornecemos, junto com o gráfico fundamental, um método simplificado para cálculo dos tempos de verde (método que chamaremos "universal"), além de uma tabela para cálculo do comprimento do ciclo.

### 3.1.3 Cálculo dos tempos de verde

O procedimento a seguir descrito, por nós denominado "universal simples", é a forma mais simples e direta de determinação dos tempos de verde de uma interseção, embora, conforme comentado posteriormente, não leve em consideração fatores importantes na análise da capacidade. Este procedimento fundamenta-se (assim como os outros) nas duas constatações básicas citadas na introdução, ou seja:

- a largura da aproximação é o principal fator determinante da capacidade da mesma; e
- o volume de tráfego que deseja utilizar a aproximação (demanda) e a largura da mesma, estão ligados ao tempo de verde necessário para escoar este volume, respectivamente nas formas direta e inversamente proporcionais.

Assim, é intuitivo que quanto mais volume tivermos, maior será o tempo verde necessário para liberá-lo; por outro lado, quanto maior for a largura, maior será a capacidade e menor será o tempo verde necessário.

Nossa relação, então, poderia ser:

$$\frac{TV1}{TV2} = \frac{V1 \cdot L2}{V2 \cdot L1} \quad \text{onde:}$$

(eq. 1)

TV1 = tempo verde da fase 1 (segundos)  
 TV2 = tempo verde da fase 2 (segundos)  
 V1 = volume da aprox. 1 (veíc/h)  
 V2 = volume da aprox. 2 (veíc/h)  
 L1 = largura da aprox. 1 (metros)  
 L2 = largura da aprox. 2 (metros)

No caso das faixas terem larguras iguais, poder-se-ia raciocinar em "volume por faixa", eliminando a variável L. Assim, teríamos:

$$\frac{TV1}{TV2} = \frac{V'1}{V'2} \quad \text{onde:}$$

(eq. 2)

V'1 = volume por faixa da aprox. 1 (veíc/h)  
 V'2 = volume por faixa da aprox. 2 (veíc/h)

Devido às peculiaridades do tráfego de cada aproximação, procurou-se levar em consideração o **headway** médio em cada uma delas (diferença, em segundos, entre a passagem de dois veículos sucessivos, medida de frente a frente dos mesmos). Estes **headways** são os relativos às equações de descarga de fila mostradas no item 6.3.

Assim sendo, a relação fica:

$$\frac{TV1}{TV2} = \frac{V'1 \cdot H1}{V'2 \cdot H2} \quad \text{onde:}$$

(eq. 3)

H1 = **headway** médio na aprox. 1 (segundos)  
 H2 = **headway** médio na aprox. 2 (segundos)

Este procedimento é importante, por exemplo, quando os **headways** são muito diferentes, como no caso de haver muitos caminhões em uma das aproximações.

De maneira geral, no entanto, estes **headways** são semelhantes (ver item 6.3, "equação de descarga da fila") e o cálculo fica simplificado. Nas relações acima, portanto, temos duas incógnitas, TV1 e TV2; precisamos de uma outra relação que as contenha, para resolvermos o sistema. Esta relação é a que liga os tempo de verde a amarelo ao ciclo (ver "diagrama de tempos" do item 6.1):

$$C = TV1 + TV2 + TA1 + TA2 \quad \text{onde:}$$

(eq. 4)

C = ciclo (segundos)  
 TA1 = tempo amarelo da fase 1 (segundos)  
 TA2 = tempo amarelo da fase 2 (segundos)

Surge, então, o primeiro problema: como determinar o valor do ciclo e dos amarelos.

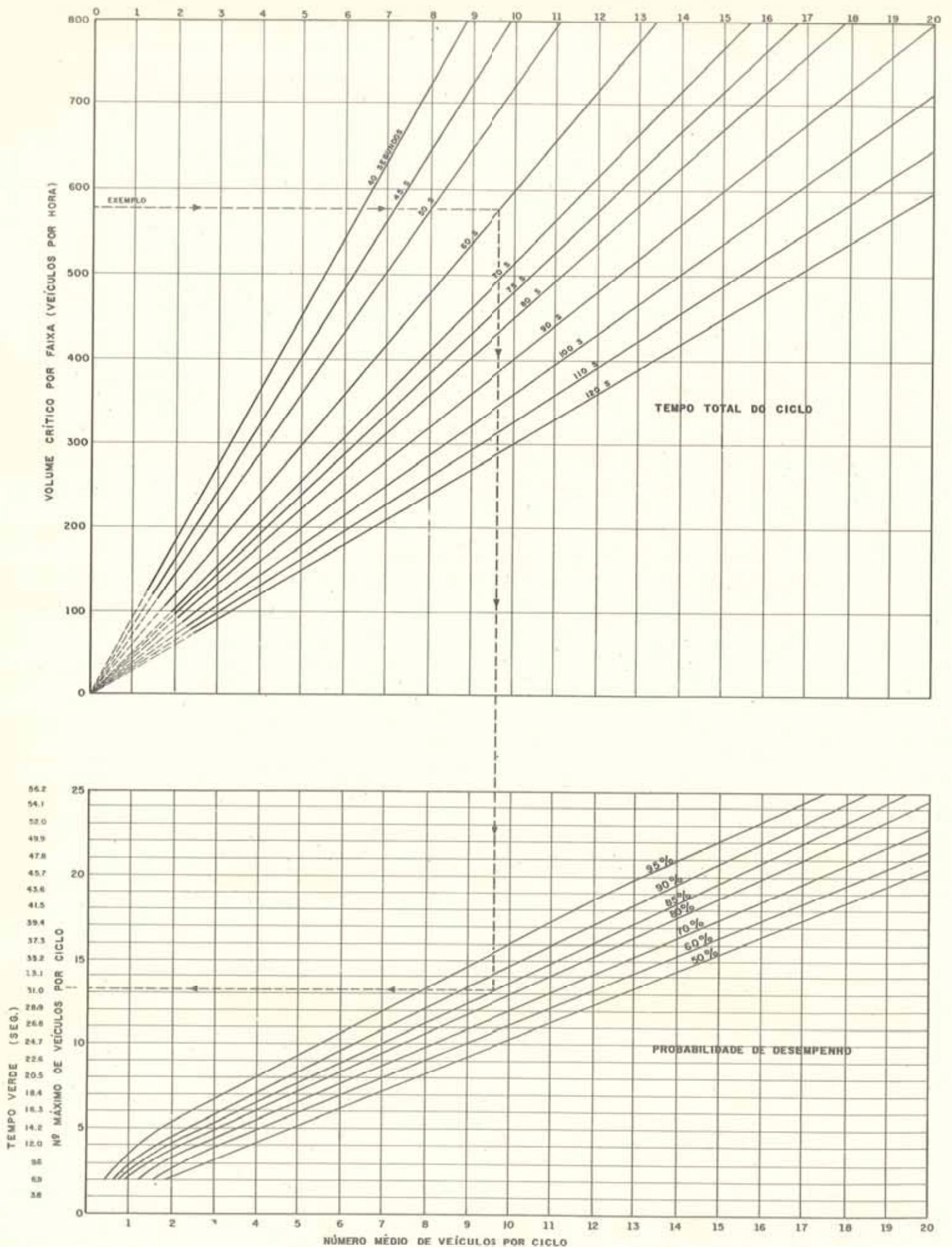


GRÁFICO 1 — Probabilidades de desempenho dos tempos verdes.

Os tempos amarelos, nas interseções simples, podem ser estabelecidos como de 3s. cada, conforme discutido no item 6.2. O ciclo, por sua vez, pode ser determinado pela tabela a seguir:

### 3.1.4 Cálculo do ciclo

TABELA 1 — Comprimento mínimo do ciclo

N.º de fases	2	3	4
$\Sigma$ dos volumes por faixa			
800	30	40	60
900	35	50	70
1.000	40	60	80
1.100	45	70	90
1.200	50	80	105
1.300	60	100	120
1.400	80	125	—
1.500	110	—	—

Fonte: Northwestern University, Traffic Institute, Traffic Signal Practice, stock number 3.517, p. 26

OBS.: Esta tabela parte dos seguintes princípios básicos:

- a coluna da esquerda é a soma dos volumes críticos por faixa de cada fase, por hora (volumes aproximadamente iguais);
- os amarelos são adotados como de 3s. cada um;
- o valor do ciclo é baseado no n.º médio de veículos por hora, significando uma probabilidade de desempenho aproximada de 50% \*; e
- os atrasos iniciais dos veículos sucessivos de uma fila que inicia o movimento são (equação de Greenshields — ver item 6.3):

veículo	1	2	3	4	5	6 (e seguintes)
headway	3.8	3.1	2.7	2.4	2.2	2.1

Fica evidente, então, que quanto maiores os volumes que se conflitam, maior é o ciclo necessário para acomodá-los. Nesta tabela, os valores fracionários de volume devem ser arredondados para mais e os de ciclo para menos, a fim de compensar o atraso para as horas fora de pico.

\* Na realidade, poucas vezes a média corresponde a 50% de probabilidade (somente quando a curva de distribuição é uniforme); o autor da tabela provavelmente adotou 50% para facilitar os cálculos.

Comentários gerais sobre o gráfico:

- **números constantes dos eixos:** o eixo horizontal mostra o número médio de veículos que chega na interseção por ciclo, ou seja, a demanda horária dividida pelo número de ciclos na hora; a parte baixa do eixo vertical mostra o número máximo de veículos esperado por ciclo (distribuição de Poisson), na probabilidade implícita no cálculo. Assim, se a demanda horária por faixa é de 700 veículos e o ciclo é de 80s. (45 ciclos na hora), o número médio de veículos esperado é de  $700/45$ , ou seja, 15,6 (eixo horizontal); por outro lado, o número máximo esperado, nas probabilidades de 70 e 90% (mantidos o ciclo e a demanda), é de 18 e 20,5 respectivamente;
- **probabilidades de desempenho:** a probabilidade significa a porcentagem de ciclos, na hora, que conseguirá liberar a demanda presente. Se  $p = 50\%$ , por exemplo, isto significa que em apenas 50% dos ciclos dentro de uma hora a fila presente será totalmente liberada; na outra metade, a fila será maior do que a média e o verde existente não será suficiente para liberá-la; e
- **tempos de verde:** o gráfico básico, construído de acordo com o processo de chegada aleatório (distribuição de Poisson), contém apenas o número máximo de veículos esperado na probabilidade implícita. Para tornar mais prático o procedimento é que se incluiu, na parte baixa do eixo vertical, os tempos de verde necessários para liberar o número de veículos na fila, obtidos através da equação de descarga da fila de Greenshields (ver item 6.3). O método original de Bellis, por exemplo, já apresentava tempos de verde, mas segundo outra equação de descarga.

### 3.1.5 Procedimentos gerais possíveis

#### a — Verificação das probabilidades de desempenho

- somar os volumes críticos por faixa das fases e entrar na Tabela 1, determinando o ciclo;
- com o volume crítico por faixa de cada fase, entrar no Gráfico 1, percorrendo uma linha horizontal até o ciclo adotado e depois outra vertical até a família de curvas de probabilidade;
- entrar com o tempo verde calculado para cada fase na parte baixa do eixo vertical, percorrendo uma linha horizontal até a família de curvas de probabilidade; e
- ler a probabilidade alcançada, no encontro com a linha vertical que vem do ciclo adotado; se  $p > 50\%$ , não há necessi-

dade de alterações; se  $p < 50\%$ , reestudar o problema, aumentando o ciclo ou mudando a divisão de fases.

OBS.: Os tempos de verde podem ser calculados pelas equações 1, 2 ou 3 mostradas anteriormente.

b — Determinação dos tempos de verde (processo iterativo)

- escolher um ciclo qualquer (ou três próximos entre si), baseando-se na magnitude das demandas por faixa (lembrando que quanto maiores os volumes, maior será o ciclo necessário para acomodá-los e que, quanto maior a probabilidade de desempenho desejada, o mesmo acontece);
- escolher a probabilidade desejada;
- entrar com o volume por faixa de cada fase no Gráfico 1, virando no valor do ciclo adotado e na probabilidade escolhida, encontrando o tempo verde necessário;
- somar os tempos de verde das fases entre si e aos amarelos adotados (ou calculados), comparando o resultado com o valor do ciclo adotado (lembrar que o ciclo pode ser representado pela soma dos verdes e amarelos — ver item 6.1);
- repetir o processo para os outros ciclos porventura adotados; e
- escolher o ciclo que coincidir com a soma dos verdes e amarelos; se nenhum coincidir, tentar novos ciclos.

OBS.: A soma dos verdes e amarelos não precisa ser exatamente igual ao ciclo, podendo estar na faixa de 95 a 105% deste.

c — Determinação dos verdes, com ciclo tabelado:

- somar os volumes críticos por faixa das fases e entrar na Tabela 1, determinando o ciclo;
- com o volume crítico por faixa de cada fase, entrar no Gráfico 1, virando no valor do ciclo adotado e percorrendo uma linha vertical até as curvas de probabilidade; e
- virar na probabilidade de 50% (implícita na Tabela 1), encontrando o tempo verde necessário no eixo vertical.

OBS.:

- os tempos verdes calculados, se somados entre si e aos amarelos de 3s. (implícitos na Tabela 1), reconstituirão o valor do ciclo; e
- o nível de desempenho de 50% representa o nível E de operação (ver "método HCM"), ou seja, a aproximação está operando "na capacidade". É o mínimo desejável, satisfatório para

interseções não críticas, pois, embora possa ocorrer congestionamento quando o número de veículos exceder o médio, na maior parte do dia ela estará bem balanceada. Aumentar a probabilidade significa garantir boa operação nas horas de pico e, por outro lado, maiores atrasos nas horas fora de pico (folga). O ideal, para interseções carregadas (ou de demanda muito variável), é estabelecer o nível em torno de 80%. Analogamente, uma interseção poderia ser programada para operar com probabilidades diferentes para as suas aproximações.

De qualquer modo, o técnico deve sempre analisar o processo de chegada dos veículos na interseção; se ele é aleatório (e este método se baseia nisto), geralmente não convém trabalhar com o nível de 50%, pois é grande a probabilidade da fila média ser ultrapassada; se ele é dependente (de uma interseção anterior, por exemplo), há mais certeza do número de veículos chegando e torna-se mais fácil o cálculo.

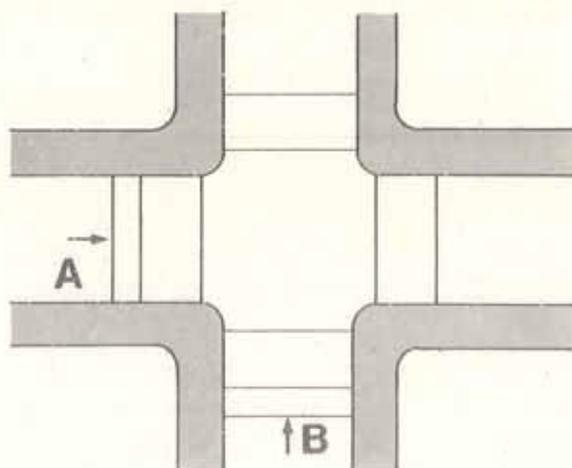
Em qualquer caso, o aumento de probabilidade, mantidos o ciclo e a demanda, elevará os tempos de verde necessários que, somados entre si e aos amarelos, não reconstituirão mais o valor do ciclo, como o fariam para  $p = 50\%$ ; através de um processo iterativo, então, vão-se obtendo novos ciclos e tempos de verde, até que eles obedeçam à probabilidade desejada (ver exemplo n.º 3).

### 3.1.6 Exemplos de aplicação

#### 1 — Primeiro procedimento possível:

Para a determinação das probabilidades de desempenho.

Dada a interseção de duas vias de sentido único de circulação abaixo desenhada, operando em duas fases, determinar os tempos de verde.



A → 9  
B → 12

- Demandas:  
A: 1200v/h  
B: 2400v/h
- headways iguais nas duas aproximações;
- estacionamento proibido;
- velocidade aproximada: 40km/h

a — relação fundamental: 
$$\frac{TVA}{TVB} = \frac{1200}{2400} \times \frac{12}{9} = 0,66 \quad (1)$$

b — ciclo (adotando três faixas para cada aproximação)

$$\left. \begin{array}{l} V'A = 1200/3 = 400 \text{ v/h x faixa} \\ V'B = 2400/4 = 600 \text{ v/h x faixa} \end{array} \right\} V'_{\text{Total}} = 1000 \xrightarrow{\text{Tab}} C = 40\text{s}$$

c — amarelos: adotados como de 3s. cada

d — equação dos tempos de verde:

$$TVA + TVB + 6 = 40 \quad \therefore TVA + TVB = 34 \quad (2)$$

e — de (1) e (2) vem que:

$$TVA = 20\text{s} \quad TVB = 14\text{s}$$

f — verificação das probabilidades de desempenho:

$$A \left\{ \begin{array}{l} V'A = 400 \text{ v/h} \\ C = 40\text{s} \\ TVA = 20 \text{ s} \end{array} \right\} p \cong 55\%$$

$$B \left\{ \begin{array}{l} V'B = 600 \text{ v/h} \\ C = 40\text{s} \\ TVB = 14\text{s} \end{array} \right\} p \cong 60\%$$

2 — Segundo procedimento possível:

Para a determinação dos verdes (ciclo tirado da Tabela 1).

Dada a interseção de duas vias de sentido único de circulação (aproximações A e B), com larguras respectivamente de 6 e 10m, volumes respectivamente iguais a 1.100v/h e 2.250v/h:

a — dimensionar os tempos de verde para a probabilidade de desempenho de 50%; e

b — redimensionar, para probabilidades de 70%;

Solução:

a — O volume por faixa será:

$$V'A \rightarrow \frac{1100}{2} = 550$$

$$V'B \rightarrow \frac{2250}{3} = 750$$

O ciclo será:

$$\text{volume total} = 550 + 750 = 1300 \xrightarrow{\text{Tab}} C = 60\text{s}$$

Os tempos de verde serão:

$$A \left\{ \begin{array}{l} V'A = 425 \\ C = 60\text{s} \\ p = 50\% \end{array} \right\} \quad TVA = 24\text{s}$$

$$B \left\{ \begin{array}{l} V'B = 750 \\ C = 60\text{s} \\ p = 50\% \end{array} \right\} \quad TVB = 31\text{s}$$

**OBSERVAÇÕES:**

- 1 — os tempos de verde, somados entre si e aos amarelos, reconstituirão o valor do ciclo; e
- 2 — Pode ser necessário aumentar o valor dos amarelos, o que seria feito em detrimento dos tempos verdes e não do valor do ciclo.
- b — neste caso, os tempos de verde serão superiores aos determinados no passo anterior, já que deverão liberar um número maior de veículos. Assim, sua soma não produzirá mais o ciclo original de 60s. e será necessário alterar este valor. Vejamos:

$$\left. \begin{array}{l} V'A = 550 \\ C = 60\text{s} \end{array} \right\} p = 70\% \rightarrow TVA = 27\text{s}$$

(corresponde a um número máximo de chegadas de 11 veículos, e não mais de 9 como no caso de  $p = 50\%$ )

$$\left. \begin{array}{l} V'B = 150 \\ C = 60\text{s} \end{array} \right\} p = 70\% \rightarrow TVB = 35\text{s}$$

(corresponde a um número máximo de chegadas de 15 veículos, e não mais a 13 como no caso de  $p = 50\%$ )

$$\text{Novo ciclo} = TVA + TVB + TA1 + TA2 = 68\text{s (adotado de 70s.)}$$

Portanto, os tempos de verde produziram o ciclo de 70s. Notar que, entrando com os volumes dados e o ciclo de 70s. no gráfico duplo, os tempos de 27 e 35s. não mais corresponderão às probabilidades de desempenho de 70% e sim a probabilidades menores, de aproximadamente 55% e 50% (as probabilidades de 70% correspondiam ao ciclo de 60s.).

É necessário, então, adotar o ciclo de 70s., entrar no gráfico com este valor e os volumes dados, determinando novos tempos verdes correspondentes à probabilidade desejada de 70%. Novamente, os tempos verdes obtidos não reconstituirão, se somados, o ciclo de 70s. e sim, um ciclo mais longo. Este deverá ser adotado, repetindo-se o processo de entrada no gráfico, com  $p = 70\%$ . A cada novo ciclo obtido, far-se-á uma verificação, assumindo seu valor e a mesma demanda e entrando no gráfico com os tempos de verde que formaram este ciclo, determinando as probabilidades de desempenho decorrentes, e checando-as com a desejada, até que sejam aproximadamente iguais.

No caso do exemplo dado, a probabilidade de 70% será obtida para as duas aproximações com o ciclo de 90s. e tempos de verde respectivamente de 37 a 48s.

OBS.: O resultado também poderia ser obtido utilizando o procedimento iterativo do 3.º exemplo.

3 — Terceiro procedimento possível:

Determinação dos verdes (ciclo pelo processo iterativo)

Dada a interseção de duas aproximações A e B, com demandas respectivamente de 1.200v/h e 2.100v/h e larguras de 6 e 9m, dimensionar o ciclo e os verdes para  $p = 50\%$ .

Solução:

a — ciclo (tentativa)

$$\begin{aligned} \text{volumes/faixa : } & \quad A \xrightarrow{2 \text{ faixas}} \frac{1200}{2} = 600 \text{ v/h x faixa} \\ & \quad B \xrightarrow{3 \text{ faixas}} \frac{2100}{3} = 700 \text{ v/h x faixa} \end{aligned}$$

ciclos arriscados : 50,60 e 70s.

b — determinação dos verdes (Gráfico 1,  $p = 50\%$ )

	Ciclos		
	50	60	70
verde de A	21	25	29
verde de B	25	29	33
amarelos	6	6	6
Total	52	60	68

c — o ciclo que mais se aproxima é o de 60s.

Resposta:  $c = 60s.$

$V_a = 25s.$

$V_b = 29s.$

amarelos de 3s. cada.

#### Observações gerais:

Conforme discutido anteriormente, este método não leva em consideração alguns fatores imprescindíveis a um cálculo mais preciso. Nos exemplos dados, esta falha aparece em vários pontos:

- os volumes adotados não levam em consideração a composição do tráfego nem o efeito das conversões; imaginando, por exemplo, que a aproximação A do exemplo 1 tivesse 20% de caminhões e 25% de conversões à esquerda contra tráfego oposto, sua demanda "equivalente" (corrigida) seria sensivelmente superior aos 1.200 v/h adotados;
- a largura adotada seria difícil de precisar se o estacionamento fosse permitido;
- o ciclo, tirado da Tabela 1, obriga ao raciocínio da largura em termos de número de faixas o que, conforme já discutido, traz erros muito grandes em determinados casos; no mesmo exemplo 1, se as larguras fossem de 8 e 10m, adotar-se-ia para as duas o número de três faixas, o que não representaria o comportamento real do tráfego e da capacidade; e
- a equação de descarga de fila implícita no Gráfico 1 só é válida para aproximações planas.

#### 3.1.7 Comentários finais

Conforme visto, trata-se de um método flexível, que permite uma escolha do desempenho desejado, o que de certo modo significa um determinado "nível de serviço" oferecido.

No entanto, este método carece de alguns fatores importantes na determinação da capacidade, prejudicando a precisão do cálculo quando entram em jogo dados não convencionais como altas porcentagens de caminhões, declividades, conversões à esquerda contra tráfego oposto, grandes distâncias a vencer na interseção (com o conseqüente aumento do comprimento do amarelo) etc.

Assim, parece-nos que ele pode e deve ser utilizado, desde que as condições adversas citadas acima não estejam presentes, ou estejam, mas em pequena porcentagem.

Este método, portanto, tem uma utilidade prática muito grande, podendo ser utilizado no cálculo preliminar de qualquer interseção, dada a rapidez com que pode ser usado, assim como no cálculo final das interseções planas (declividade máxima 2%) e isoladas nas quais as condições adversas citadas acima não ultrapassem, por exemplo, 15% de veículos comerciais e 15% de conversões à esquerda contra tráfego oposto.

**Adaptações possíveis:**

- a — o problema da largura a adotar quando o estacionamento é permitido pode ser suavizado descontando, por exemplo, 2m para cada lado em que ele é permitido; e
- b — a presença de veículos lentos pode ser compensada, equiparando-se cada veículo lento a dois "leves" ou de passageiros, obtendo-se o "volume equivalente".

**3.2 Método do HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM)**

Este método, publicado pelo "Highway Research Board" dos Estados Unidos, trouxe inovações muito importantes no tocante à inclusão de novos fatores determinantes da capacidade de fluxo interrompido.

Enquanto o método até aqui abordado limitava-se a relações simples de larguras e demandas, este terceiro método pesquisou exaustivamente uma série de fatores que interferem no valor da capacidade, discutindo esta interferência e criando gráficos e tabelas para a sua análise.

Por outro lado, é o único método que apresenta uma metodologia para analisar as condições existentes, de acordo com o conceito de "nível de serviço", por ele criado.

**3.2.1 Conceitos fundamentais**

a — Nível de serviço

Conforme o termo deixa transparecer, o nível de serviço é uma medida **qualitativa** do serviço oferecido ao motorista que percorre uma dada via. Para ele, por exemplo, um "bom" nível de serviço representa, geralmente, volume baixo e velocidade alta, enquanto que um "mau" nível de serviço representa exatamente o oposto.

Da mesma maneira, ele também "sente" a segurança, a liberdade para manobrar e escolher a velocidade, para mudar de faixa etc.; sendo assim, foram definidas, inicialmente, algumas medidas qualitativas, que pudessem identificar o nível de serviço oferecido.

Estas medidas referem-se aos dois tipos de fluxo analisados, ininterrupto e interrompido, sendo que o último tipo é o que nos interessa mais diretamente. No entanto, para facilitar a compreensão do conceito, vamos discuti-lo também para fluxo ininterrupto, embora de maneira breve. Assim sendo, as medidas qualitativas são: velocidade e tempo de percurso, interrupções no tráfego, liberdade para manobrar, segurança, conforto e conveniência ao dirigir e custos operacionais.

O estudo baseado nestas medidas é, no entanto, bastante subjetivo; procurou-se definir, então, medidas quantitativas, que permitissem uma espécie de "tabelamento" dos níveis (ver item 3.2.3a). Elas são, por exemplo, velocidade de operação, velocidade média de projeto e relação volume/capacidade (caso de fluxo ininterrupto) e "fator de carga" (FC) para o caso de fluxo interrompido.

Procurou-se classificar as vias quanto ao tipo, já que seria impossível comparar níveis de serviço de vias completamente diferentes entre si. Para cada uma delas, foi estabelecido um grupo de faixas, de A até F, correspondentes a seis níveis de serviço.

O nível A é o "melhor", enquanto que o nível F é o "pior", característico do congestionamento total. Cada um dos tipos de via tem seu grupo de seis faixas, limitado inferior e superiormente por valores numéricos das medidas quantitativas escolhidas.

Analogamente, ao estudar o "fator de carga" — FC (fluxo interrompido), criaram-se também "faixas", cada uma correspondente a um nível de serviço da aproximação: sendo o FC a relação entre o número de fases carregadas e o número de fases oferecidas na hora estudada, ele expressa o quanto a aproximação está sendo solicitada em relação ao que ela pode oferecer e é, assim, uma medida da "qualidade" do serviço oferecido (o FC está discutido no item "fatores determinantes" a seguir).

#### b — Volume de serviço

Associado ao nível de serviço, está o conceito de "volume de serviço" que é assim chamado pelo fato de ser, sempre, um volume correspondente a um dado nível de serviço. Sendo o nível uma faixa e não um valor pontual, dentro dele poderão ser acomodados vários volumes; dentro desta gama de volumes possível, o volume de serviço é o máximo possível que pode passar por uma seção de via, num dado período de tempo, durante o qual as condições de operação são mantidas correspondentes ao nível de serviço especificado. Neste nível, portanto, só poderão ser encontrados volumes menores ou

iguais aos de serviço, nunca maiores. Todos os gráficos deste método referem-se não à capacidade e sim ao "volume de serviço": a capacidade, para ele, é somente o volume de serviço correspondente ao nível E de operação, o que modifica um pouco, mas não invalida, o conceito de "hora de tempo verde" exposto no item 2.1.

### 3.2.2 Análises possíveis

Assim, trabalhando com o conceito básico de nível de serviço, este método possibilita os seguintes procedimentos:

- a — cálculo do volume de serviço máximo oferecido por uma dada aproximação, num nível de serviço escolhido;
- b — análise do nível de serviço em que uma dada aproximação está operando;
- c — cálculo do tempo verde proporcional (relação entre o verde e o ciclo), necessário para que uma dada aproximação opere num nível de serviço escolhido; e
- d — cálculo da largura necessária para que uma dada aproximação opere num nível de serviço escolhido.

### 3.2.3 Fatores determinantes

São os seguintes os fatores que determinam e/ou interferem no valor da capacidade, segundo este método:

- a — condições físicas e operacionais:  
largura da aproximação  
operação em mão única ou dupla  
condições de estacionamento;
- b — condições ambientais:  
fator de carga (FC)  
fator de pico horário (FPH)  
população da área metropolitana  
localização dentro desta área;
- c — condições de tráfego:  
movimentos de conversão  
caminhões e ônibus diretos  
ônibus locais; e
- d — medidas de controle:  
semáforos  
marcação horizontal (faixas).

a — Condições físicas e operacionais

• largura da aproximação

a largura é medida em metros e é tomada, no caso de mão dupla, da guia até a linha divisória dos fluxos opostos (mesmo que imaginária) e, para mão única, de guia a guia, inclusive estacionamentos (nos dois casos).

As faixas especiais de conversão, com ou sem fases semaforizadas especiais, não devem ser adicionadas, sendo estudadas separadamente (item 4.2).

• mão dupla ou mão única

O tipo de circulação imposto à via já aparece nos gráficos de volume de serviço (Figs. 1 a 5), juntamente com a condição de estacionamento, a largura e o fator de carga. Escolhe-se o gráfico correspondente à circulação imposta à via.

De maneira geral, o método sugere que se evitem comparações diretas através da superposição das curvas de capacidade (como por exemplo para comparar capacidades de via de mão única com via de mão dupla), dada a relatividade das situações possíveis de ocorrer.

• condições de estacionamento

A condição de estacionamento já aparece implícita nos gráficos de volume de serviço, juntamente com o tipo de circulação, a largura, e o FC.

Para aproximações normais, a perda de largura "útil", segundo este método, vai de 3,6 a 4,2m, podendo, em vias largas e com baixo coeficiente de utilização, atingir 6m (valores bem superiores aos mostrados pelos métodos Webster e SETRA). O método salienta que a condição "sem" estacionamento não quer dizer que em nenhum lugar da quadra há veículos estacionados, mas sim, que se os houver, não afetam a capacidade. De maneira geral, fica definido que as aproximações que têm veículos estacionados dentro de 75m a partir da interseção devem ser consideradas como "com" estacionamento.

b — Condições ambientais

• fator de carga (FC)

É a medida do grau de utilização da aproximação. É a relação entre o número de fases verdes carregadas e o número de fases verdes oferecidas no período considerado (normalmente de uma hora).

É um número adimensional, que pode teoricamente variar entre ZERO (nenhuma fase carregada) e HUM (todas as fases carregadas na hora pesquisada), ambos os casos praticamente impossíveis de ocorrer na prática.

Uma fase verde é considerada carregada quando as seguintes condições são atendidas:

- ao aparecer o verde, há veículos prontos para entrar na interseção em todas as faixas; e
- durante toda a fase, continua havendo veículos para entrar em todas as faixas, sem tempo ocioso e espaçamentos excessivamente longos entre veículos devido à falta de tráfego, sejam estes espaçamentos devidos à falta de demanda ou a atritos laterais e interferências a montante da corrente. Uma fase "carregada", ao terminar, normalmente obrigará alguns veículos a parar. Salienta-se, no método, que não é essencial que o tráfego ande para que a fase seja considerada carregada; o que importa é que haja demanda e que quaisquer paradas que ocorram sejam devidas a problemas da interseção estudada e não uma consequência de problemas de outros locais.

Devido ao fato de ser uma medida do grau de utilização da aproximação, o FC foi escolhido para identificar o nível de serviço, analogamente ao caso de fluxo ininterrupto.

Criaram-se, então, faixas de fatores de carga, cada uma delas correspondente a um nível de serviço. Estas faixas são:

- |                    |                                                                                                                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nível A (FC = 0,0) | : nenhuma fase verde é carregada, nenhum veículo espera mais do que um vermelho para atravessar; o motorista tem praticamente toda a liberdade para dirigir. |
| Nível B (FC ≤ 0,1) | : poucas fases carregadas, alguma restrição nas manobras;                                                                                                    |
| Nível C (FC ≤ 0,3) | : restrições aumentando, alguns motoristas com possibilidade de esperar mais de um vermelho para atravessar;                                                 |
| Nível D (FC ≤ 0,7) | : restrições aproximam-se da instabilidade, podendo ocorrer filas grandes e muito atraso;                                                                    |

Nível E ( $FC \leq 1,0$ ) : o nível no qual ocorre a capacidade, quando o FC atinge o valor unitário, embora isto, na prática, seja difícil de ocorrer; longas filas e grandes atrasos;

Nível F (FC sem valor) : congestionamento total; a aproximação é governada por fatores externos, anulando a possibilidade de quaisquer medidas no local.

Deve-se notar que a mudança do tempo de verde alterará o carregamento das fases e modificará, conseqüentemente, o valor do FC. O fator de carga, portanto, depende diretamente do tempo verde dedicado à aproximação. Neste aspecto reside a grande flexibilidade deste método: é possível operar uma aproximação em vários níveis de serviço, desde A até E, bastando para isso determinar a proporção de verde necessária.

Por outro lado, na operação da interseção, os FC podem ser balanceados de acordo com as necessidades e/ou prioridades envolvidas. Normalmente, na zona urbana, recomenda-se, para projeto, o dimensionamento para o nível C.

Na determinação do FC no campo, para análise da situação presente, deve-se tomar um cuidado especial na decisão sobre o que seja uma fase carregada, conforme discutido acima.

De maneira geral, recomenda-se, na impossibilidade de levantamentos, o FC de 0,85 (para nível E) para as interseções isoladas ou de condições médias e o FC de 0,95/1,0 para as vias nas quais há um sistema progressivo de semáforos altamente eficiente.

• fator de pico horário (FPH)

Devido às variações do volume dentro da hora, o FPH é importante, pois reflete esta variação. É uma medida de consistência da demanda, expressa como a relação entre o volume total contado na hora de pico e quatro vezes o volume dos 15min consecutivos máximos desta hora.

Assim, poderíamos exemplificar:

$$FPH = \frac{\text{Volume da hora de pico}}{4 \times V15(\text{máx})} \quad \text{onde} \quad \begin{array}{l} V15(\text{máx}) = \text{Volume} \\ \text{dos 15min consecuti-} \\ \text{vos máximos da hora} \\ \text{pesquisada} \end{array}$$

Ele varia, portanto, entre 0,25 ( $V15 = V$  total) e HUM (os quatro períodos de 15min exatamente iguais). As duas situações são muito difíceis de ocorrer na prática.

Recomenda-se o levantamento do FPH em cada lugar estudado, sendo possível adotar o índice encontrado em interseções importantes como o índice geral da área. Por outro lado, pode-se estimá-lo de acordo com as condições: se ocorrem longas filas na hora de pico, adota-se de 0,90 a 0,95; se o carregamento é elevado na aproximação por mais de uma hora, adota-se 0,85; se há geradores de tráfego criando picos acentuados, usar 0,60/0,70.

O FPH é encontrado nos gráficos de volume de serviço, juntamente com a população, pois descobriu-se haver um forte relacionamento entre eles.

- população da área metropolitana

O coeficiente de correção devido à população da área metropolitana, conforme já observado, aparece nas mesmas tabelas em que aparece o FPH, junto aos gráficos de volume de serviço.

- localização dentro da área

Neste método, definiram-se áreas nas quais podem ser localizadas as interseções estudadas. Estas áreas são:

- área central
- área marginal (intermediária) : é a que circunda a área central, com muita atividade comercial diversificada;
- área comercial de bairro : afastada do centro, com intenso movimento próprio; e
- área residencial : na qual o uso do solo é predominantemente residencial.

Os fatores de ajuste para cada localização aparecem junto aos gráficos de volume de serviço, na forma de coeficientes de correção dos mesmos.

e — Condições de tráfego

- movimentos de conversão

Neste método, ao contrário dos métodos Webster e SETRA, o tratamento não é sofisticado. Nas tabelas de correção (Tabelas 1 e 3) o movimento de conversão à esquerda aparece ligado ao tipo de circulação, à presença ou não de veí-

culos estacionados, à largura da via, e à porcentagem de conversões, entrando como fator de correção do volume de serviço.

Nelas fica evidente, também, que a influência é tanto maior quanto maior for a porcentagem de conversões, com exceção de altas porcentagens (a partir de 22%), em vias mais largas, já que, para estas porcentagens e larguras "forma-se" praticamente um movimento de conversão isolado, diminuindo a interferência no tráfego direto.

Quanto à conversão à direita, aparece numa única tabela (Tabela 1), valendo as mesmas observações feitas acima para conversão à esquerda.

- caminhões e ônibus diretos

Neste método, são considerados veículos "pesados" somente os de seis ou mais rodas, além dos ônibus diretos.

São fornecidos fatores de ajuste, de acordo com a porcentagem destes veículos (Tabela 4), ao invés de coeficiente de "equivalência", como nos métodos de Webster e SETRA. A este respeito, aliás, é comentado somente que um caminhão é equivalente, no mínimo, a dois veículos de passageiros.

- ônibus locais

A influência depende de uma série de fatores, dentre os quais o número de ônibus, a largura da aproximação e a localização do ponto.

Neste método, há dois casos de localização do ponto: imediatamente antes da esquina (atrapalha a conversão à direita e pode estar parado durante o tempo de verde) e imediatamente após a esquina, com efeito evidentemente menor.

Um terceiro tipo, de ponto no meio da quadra, vai influenciar, dependendo do número de manobras e da distância até a interseção. Como este tipo de localização não é muito comum nos Estados Unidos, os gráficos com fatores de correção só levam em consideração os dois tipos citados antes, imediatamente antes e imediatamente após a esquina (Figs. 6 a 9). Estes ajustes, especialmente, têm utilidade limitada no Brasil, dado o tipo de localização dos pontos.

d — Medidas de controle

- semáforos

Neste método, é utilizada a relação G/C (green/cicle, ou seja,

verde/ciclo), sendo que esta relação, multiplicada pelo volume de serviço por hora de tempo verde, produz o volume de serviço por hora corrida.

É importante salientar que este método não apresenta nenhum procedimento para o cálculo do ciclo; afirma somente que ele deve ser o menor possível, dentro dos limites físicos da máquina controladora, para que se obtenha o menor atraso possível. Assim, o procedimento deste método nunca levará à determinação de qualquer tempo de ciclo, mas somente à proporção de verde, dentro de um ciclo qualquer, necessária para operar a aproximação no nível de serviço escolhido.

- marcação horizontal (faixas)

O método comenta mas não quantifica a influência da marcação horizontal das faixas na capacidade.

### 3.2.4 Gráficos e tabelas do método

- Para cálculo do volume de serviço (Figs. 1, 2, 3, 4 e 5)
- Para escolha do nível de serviço (Tabela 2)
- Para ajuste devido a veículos "pesados" (Tabela 4)
- Para ajuste devido à ônibus locais ((Figs. 6 a 9)
- Para fatores de conversão (Tabelas 1 e 3)

### 3.2.5 Condições médias

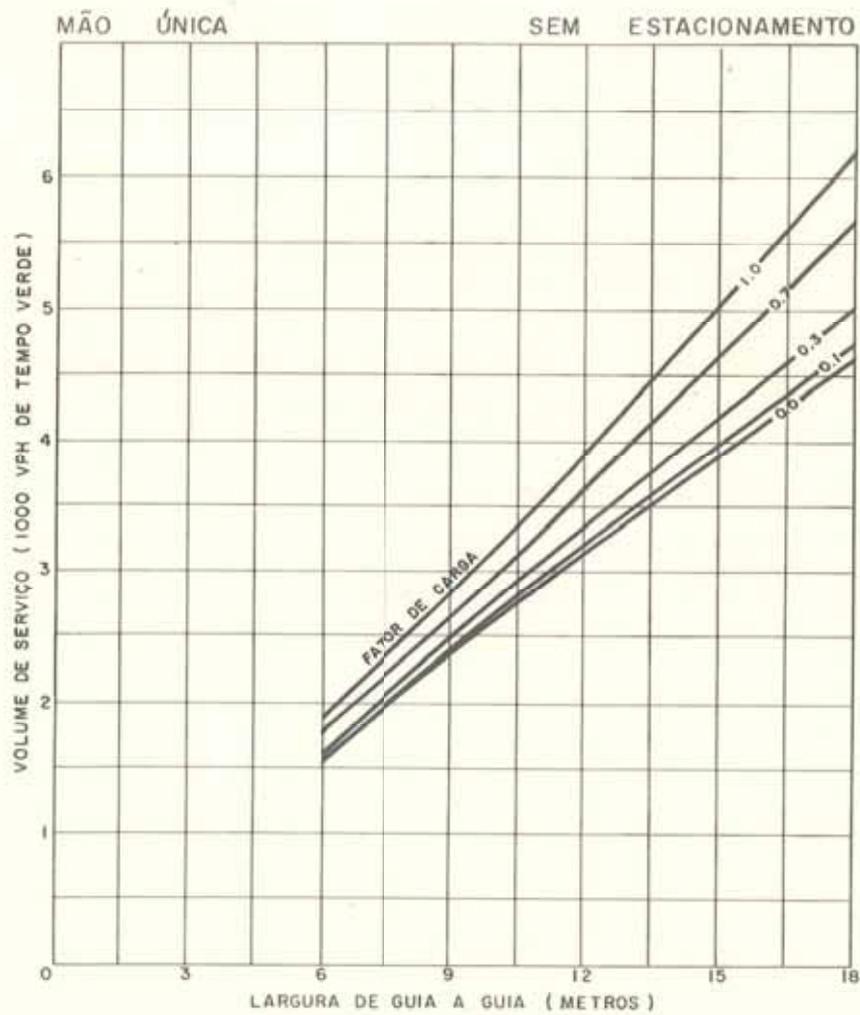
Nas pesquisas realizadas, foi escolhido um tipo de cruzamento com uma série de características consideradas médias, para as quais não há necessidade de correções.

Estas condições são:

Localização	: área central
População	: 250.000
FPH	: 0.85
Conversões à esquerda	: 10%
Conversões à direita	: 10%
Veículos comerciais	: 5%
Ônibus locais	: 0%

Assim sendo, nas tabelas e gráficos de correção, estes valores sempre corresponderão a coeficientes unitários.

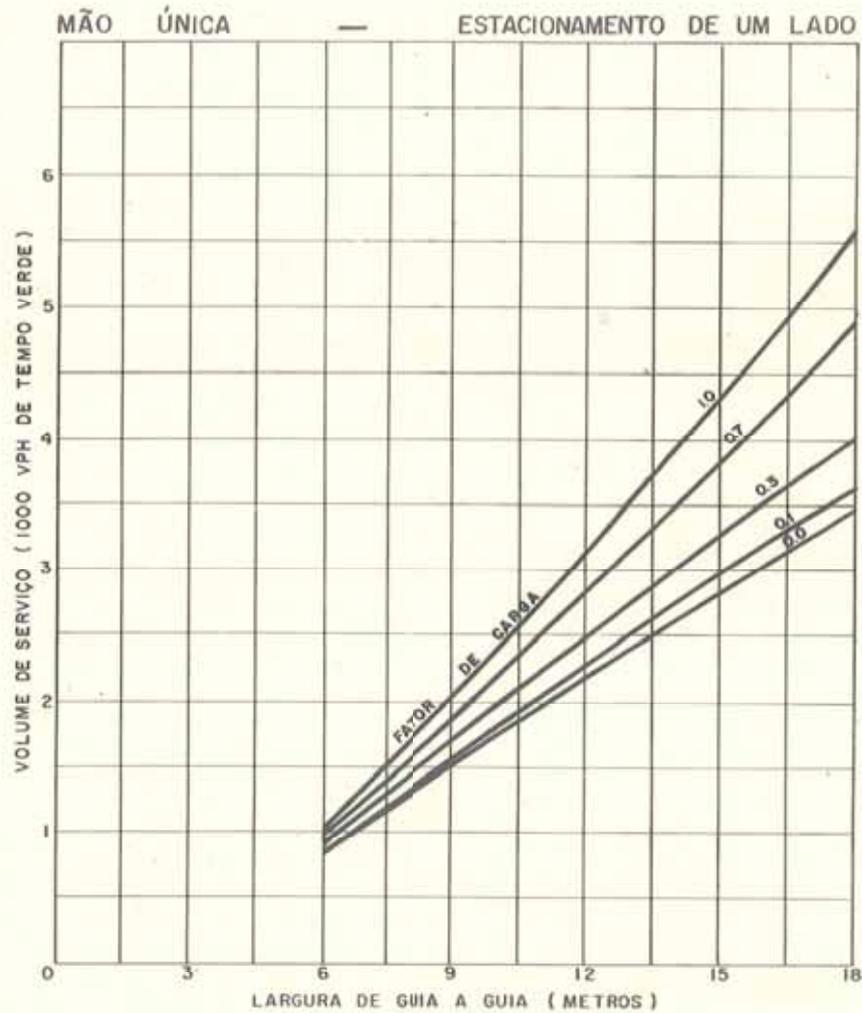
FIG. 1 — VOLUME DE SERVIÇO DE UMA APROXIMAÇÃO DE INTERSEÇÃO URBANA, EM VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE.



AJUSTE PARA LOCALIZAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA	
ÁREA CENTRAL	1.00
" INTERMEDIÁRIA	1.10
" COMER. BAIRRO	1.10
" RESIDENCIAL	1.20
* (Estimado)	

AJUSTE PARA FPH E F <sub>pop</sub>							
POP. ÁREA METR. (x 1000)	FPH						
	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
+ de 1,000	0.98	1.04	1.09	1.14	1.20	1.25	1.30
1,000	0.96	1.01	1.06	1.12	1.17	1.22	1.27
750	0.93	0.98	1.03	1.09	1.14	1.19	1.25
500	0.90	0.95	1.00	1.06	1.11	1.16	1.22
375	0.87	0.92	0.98	1.03	1.08	1.14	1.19
250	0.84	0.89	0.95	1.00	1.05	1.11	1.16
175	0.81	0.87	0.92	0.97	1.03	1.08	1.13
100	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00	1.05	1.10
75	0.76	0.81	0.86	0.92	0.97	1.02	1.08

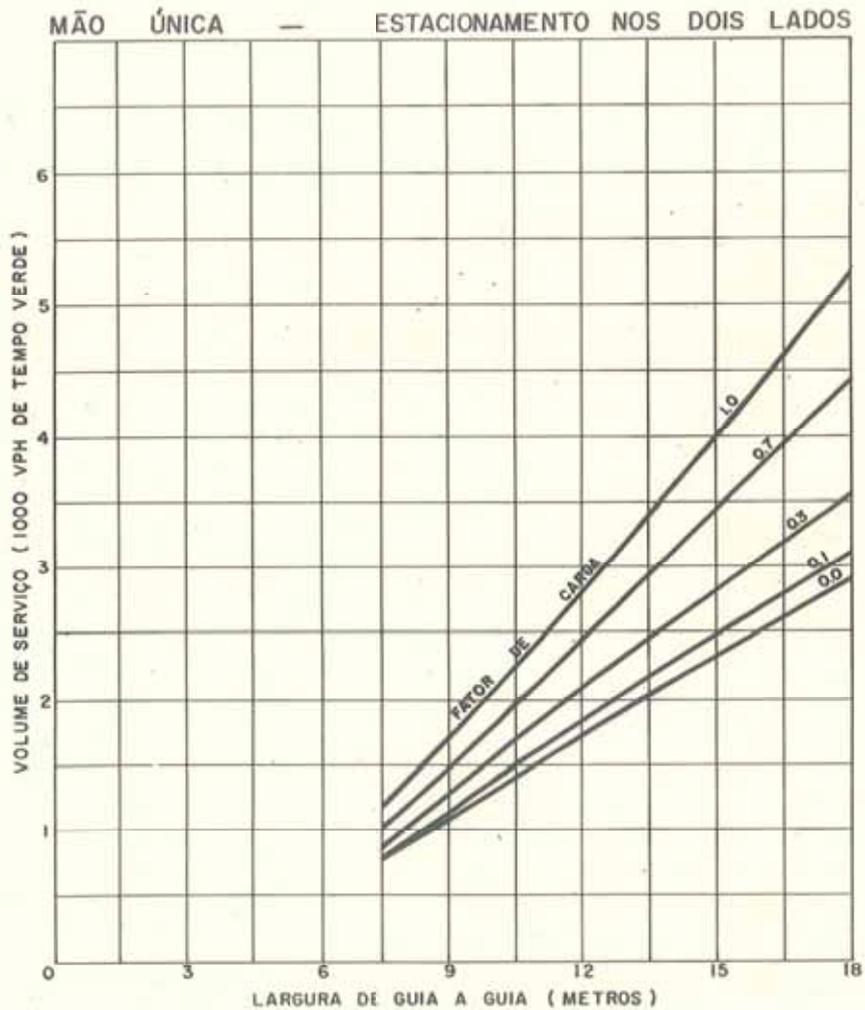
FIG. 2 — VOLUME DE SERVIÇO DE UMA APROXIMAÇÃO DE INTERSEÇÃO URBANA, EM VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE.



AJUSTE PARA LOCALIZAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA	
ÁREA CENTRAL	1.00
" INTERMEDIÁRIA	1.00
" COMER. BAIRRO	1.20*
" RESIDENCIAL	1.20
* (Estimada)	

AJUSTE PARA FPH E F <sub>pop</sub>							
POP. ÁREA METR. (x 1000)	FPH						
	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
+ de 100	0.99	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.29
100	0.96	1.01	1.06	1.11	1.17	1.22	1.27
75	0.93	0.99	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24
50	0.91	0.96	1.01	1.06	1.11	1.16	1.21
37.5	0.88	0.93	0.98	1.03	1.08	1.13	1.18
25	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
17.5	0.82	0.87	0.92	0.97	1.02	1.07	1.12
10	0.79	0.84	0.89	0.94	0.99	1.04	1.09
7.5	0.76	0.81	0.86	0.91	0.97	1.02	1.07

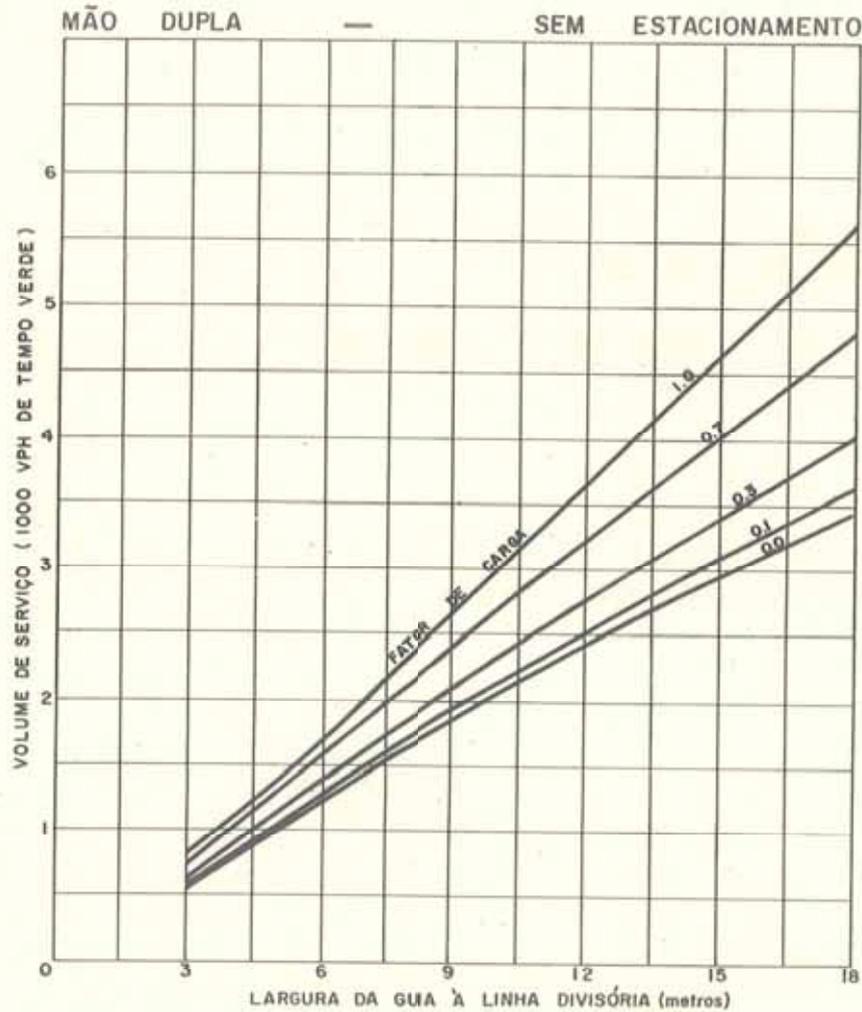
FIG. 3 — VOLUME DE SERVIÇO DE UMA APROXIMAÇÃO DE INTERSEÇÃO URBANA, EM VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE.



AJUSTE PARA LOCALIZAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA	
ÁREA CENTRAL	1,00
" INTERMEDIÁRIA	1,00
" COMER. BAIRRO	1,15
" RESIDENCIAL	1,25

POP. ÁREA METR. (x 1.000)		AJUSTE PARA FPH E Fpop						
		FPH						
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
+ de	1.000	1,00	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24	1,29
	1.000	0,97	1,02	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26
	750	0,94	0,99	1,04	1,09	1,14	1,18	1,23
	500	0,91	0,96	1,01	1,06	1,11	1,16	1,21
	375	0,88	0,93	0,98	1,03	1,08	1,13	1,18
	250	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
	175	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02	1,07	1,12
	100	0,80	0,85	0,89	0,94	0,99	1,04	1,09
	75	0,77	0,82	0,87	0,92	0,96	1,01	1,06

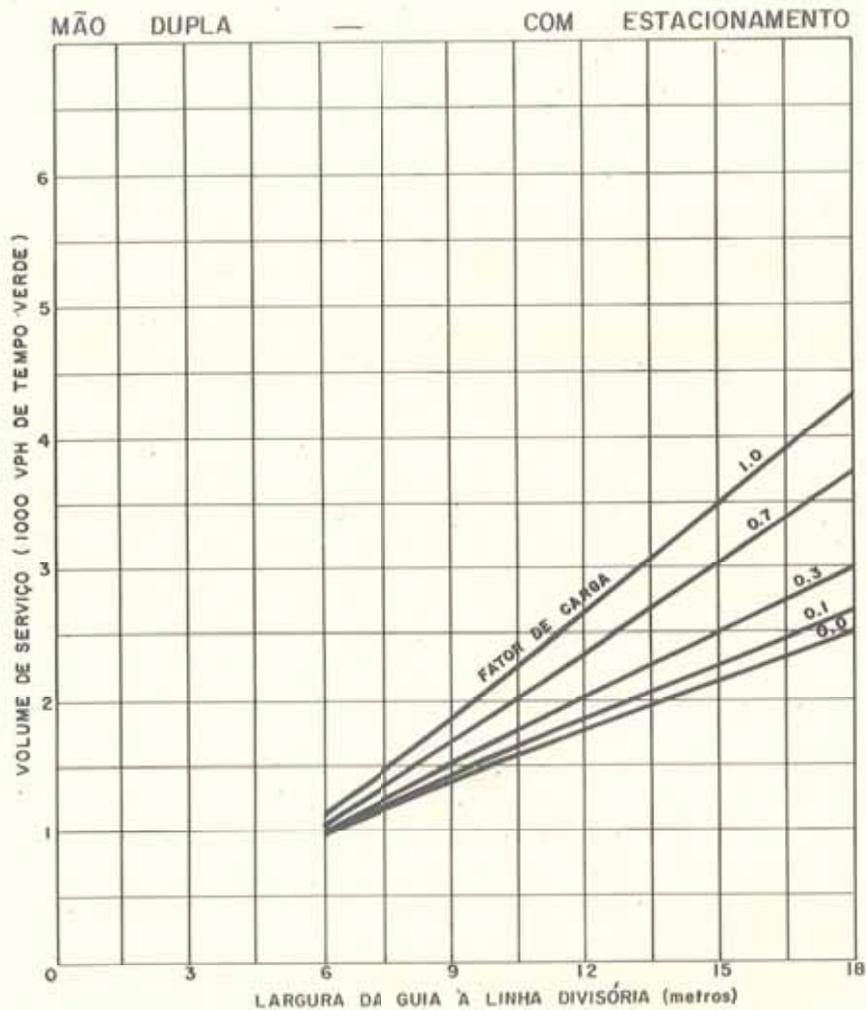
FIG. 4 — VOLUME DE SERVIÇO DE UMA APROXIMAÇÃO DE INTERSEÇÃO URBANA, EM VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE.



AJUSTE PARA LOCALIZAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA	
ÁREA CENTRAL	1.00
" INTERMEDIÁRIA	1.25
" COMER. BAIRRO	1.25
" RESIDENCIAL	1.25

AJUSTE PARA FPH E F <sub>pop</sub>							
POP. ÁREA METR. (x 1000)	FPH						
	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
+ de 1000	1.04	1.07	1.11	1.14	1.18	1.21	1.25
1000	1.01	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18	1.22
750	0.98	1.02	1.05	1.09	1.12	1.16	1.19
500	0.96	0.99	1.02	1.06	1.09	1.13	1.16
375	0.93	0.96	1.00	1.03	1.06	1.10	1.13
250	0.90	0.93	0.97	1.00	1.03	1.07	1.10
175	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.04	1.07
100	0.84	0.87	0.91	0.94	0.98	1.01	1.05
75	0.81	0.85	0.88	0.92	0.95	0.98	1.02

FIG. 5 — VOLUME DE SERVIÇO DE UMA APROXIMAÇÃO DE INTERSEÇÃO URBANA, EM VEÍCULOS POR HORA DE TEMPO VERDE.



AJUSTE PARA LOCALIZAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA	
ÁREA CENTRAL	1.00
“ INTERMEDIÁRIA	1.25
“ COMER. BAIRRO	1.25
“ RESIDENCIAL	1.25

AJUSTE PARA FPH E Fpop							
POP. ÁREA METR. (x 1.000)	FPH						
	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
+ de 1.000	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.24	1.29
1.000	0.97	1.02	1.07	1.11	1.16	1.21	1.27
750	0.94	0.99	1.04	1.09	1.13	1.18	1.23
500	0.91	0.96	1.01	1.06	1.11	1.15	1.20
375	0.89	0.93	0.98	1.03	1.08	1.12	1.17
250	0.86	0.91	0.95	1.00	1.05	1.10	1.14
175	0.83	0.88	0.92	0.97	1.02	1.07	1.11
100	0.80	0.85	0.90	0.94	0.99	1.04	1.09
75	0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.01	1.06

FIG. 6 — FATOR DE AJUSTE PARA ÔNIBUS LOCAIS PONTO IMEDIATAMENTE ANTES DA ESQUINA COM ESTACIONAMENTO.

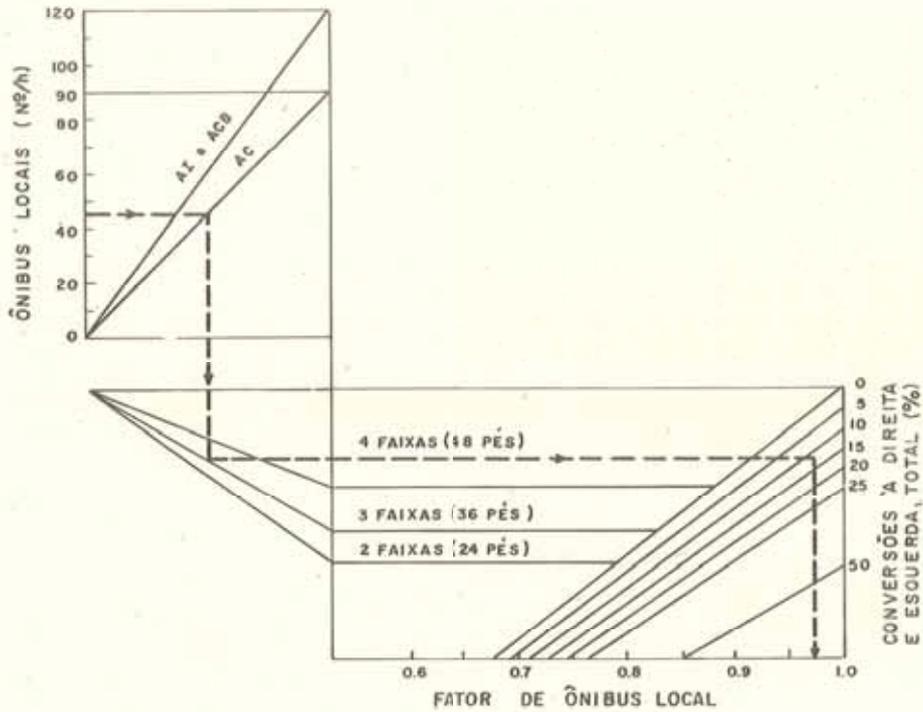


FIG. 7 — FATOR DE AJUSTE P/ ÔNIBUS PONTO APÓS A ESQUINA SEM ESTACIONAMENTO

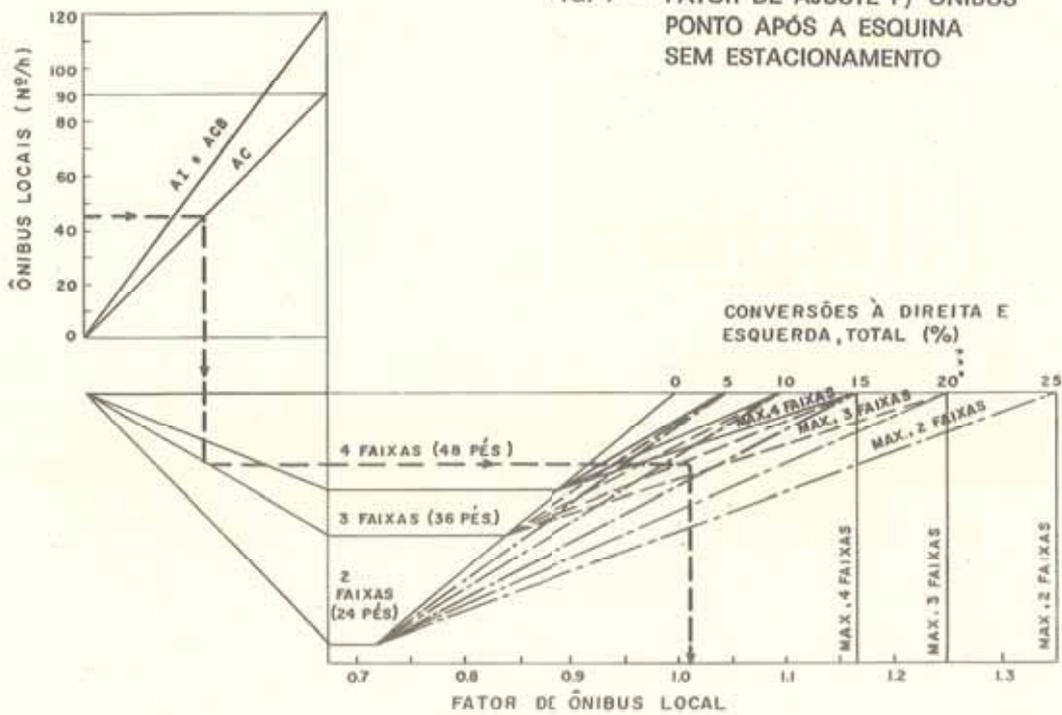


FIG. 8 — FATOR DE AJUSTE PARA ÔNIBUS LOCAIS  
PONTO ANTES DA ESQUINA  
SEM ESTACIONAMENTO

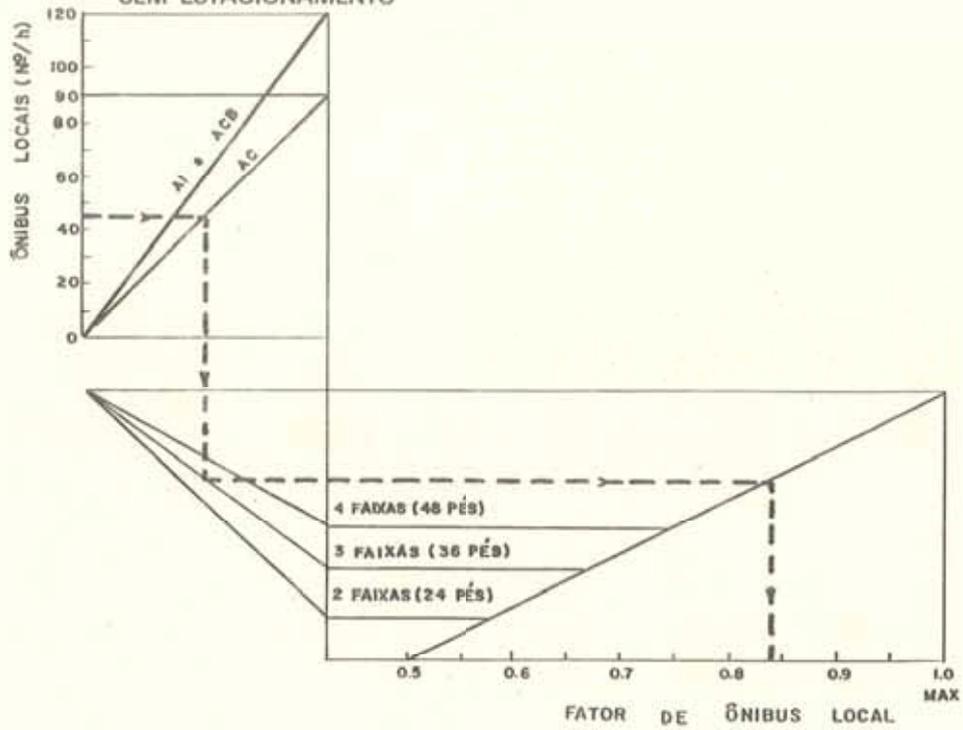


FIG. 9 — FATOR DE AJUSTE PARA ONIBUS LOCAIS  
PONTO APÓS A ESQUINA  
COM ESTACIONAMENTO

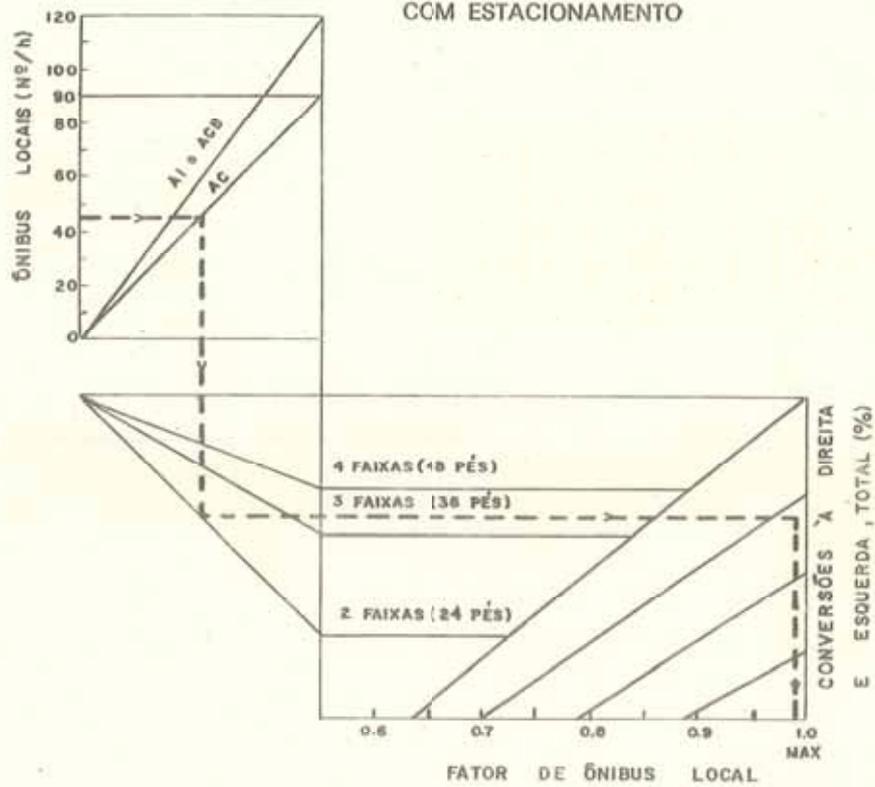


TABELA 1

## FATORES DE AJUSTE PARA:

- conversões à direita em via de mão única ou dupla;
- conversões à esquerda em via de mão única.

## FATOR DE AJUSTE

Conversões (%)	Sem estacionamento			Com estacionamento		
	Largura 4,6m	Largura 4,7m a 7,3m	Largura 7,4m a 10,4m	Largura 6,1m	Largura 6,2m a 8,8m	Largura 8,9m a 11,9m
0	1.20	1.050	1.025	1.20	1.050	1.025
1	1.18	1.045	1.020	1.18	1.045	1.020
2	1.16	1.040	1.020	1.16	1.040	1.020
3	1.14	1.035	1.015	1.14	1.035	1.015
4	1.12	1.030	1.015	1.12	1.030	1.015
5	1.10	1.025	1.010	1.10	1.025	1.010
6	1.08	1.020	1.010	1.08	1.020	1.010
7	1.06	1.015	1.005	1.06	1.015	1.005
8	1.04	1.010	1.005	1.04	1.010	1.005
9	1.02	1.005	1.000	1.02	1.005	1.000
10	1.00	1.000	1.000	1.00	1.000	1.000
11	0.99	0.995	1.000	0.99	0.995	1.000
12	0.98	0.990	0.995	0.98	0.990	0.995
13	0.97	0.985	0.995	0.97	0.985	0.995
14	0.96	0.980	0.990	0.96	0.980	0.990
15	0.95	0.975	0.990	0.95	0.975	0.990
16	0.94	0.970	0.985	0.94	0.970	0.985
17	0.93	0.965	0.985	0.93	0.965	0.985
18	0.92	0.960	0.980	0.92	0.960	0.980
19	0.91	0.955	0.980	0.91	0.955	0.980
20	0.90	0.950	0.975	0.90	0.950	0.975
22	0.89	0.940	0.980	0.89	0.940	0.980
24	0.88	0.930	0.985	0.88	0.930	0.985
26	0.87	0.920	0.990	0.87	0.920	0.990
28	0.86	0.910	0.995	0.86	0.910	0.995
30+	0.85	0.900	1.000	0.85	0.900	1.000

TABELA 2

## NÍVEIS DE SERVIÇO

Nível	Descrição do fluxo	Fator de carga
A	livre	0,0
B	estável	0,1
C	estável	0,3
D	aproximando a instabilidade	0,7
E	instável	1,0
F	forçado	não aplicável

TABELA 3

FATORES DE AJUSTE PARA:  
conversões à esquerda em via de mão dupla

Conversões (%)	Sem estacionamento			Com estacionamento		
	Largura 4,6m	Largura 4,7m a 10,4m	Largura 10,5m	Largura 6,1m	Largura 6,1m a 11,9m	Largura 12,0m
0	1.30	1.10	1.050	1.30	1.10	1.050
1	1.27	1.09	1.045	1.27	1.09	1.045
2	1.24	1.08	1.040	1.24	1.08	1.040
3	1.21	1.07	1.035	1.21	1.07	1.035
4	1.18	1.06	1.030	1.18	1.06	1.030
5	1.15	1.05	1.025	1.15	1.05	1.025
6	1.12	1.04	1.020	1.12	1.04	1.020
7	1.09	1.03	1.015	1.09	1.03	1.015
8	1.06	1.02	1.010	1.06	1.02	1.010
9	1.03	1.01	1.005	1.03	1.01	1.005
10	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000
11	0.98	0.99	0.995	0.98	0.99	0.995
12	0.96	0.98	0.990	0.96	0.98	0.990
13	0.94	0.97	0.985	0.94	0.97	0.985
14	0.92	0.96	0.980	0.92	0.96	0.980
15	0.90	0.95	0.975	0.90	0.95	0.975
16	0.89	0.94	0.970	0.89	0.94	0.970
17	0.88	0.93	0.965	0.88	0.93	0.965
18	0.87	0.92	0.960	0.87	0.92	0.960
19	0.86	0.91	0.955	0.86	0.91	0.955
20	0.85	0.90	0.950	0.85	0.90	0.950
22	0.84	0.89	0.940	0.84	0.89	0.940
24	0.83	0.88	0.930	0.83	0.88	0.930
26	0.82	0.87	0.920	0.82	0.87	0.920
28	0.81	0.86	0.910	0.81	0.86	0.910
30+	0.80	0.85	0.900	0.80	0.85	0.900

TABELA 4

FATORES DE AJUSTE PARA: ônibus e caminhões diretos

Ônibus + Caminh. (%)	Fator	Ônibus + Caminh. (%)	Fator	Ônibus + Caminh. (%)	Fator
0	1.05	7	0.98	14	0.91
1	1.04	8	0.97	15	0.90
2	1.03	9	0.96	16	0.89
3	1.02	10	0.95	17	0.88
4	1.01	11	0.94	18	0.87
5	1.00	12	0.93	19	0.86
6	0.99	13	0.92	20	0.85

### 3.2.6 Procedimento geral

(para determinação do volume de serviço máximo a oferecer)  
Inicialmente, com o tipo de circulação da via, a largura da mesma, as condições de estacionamento e o nível de serviço escolhido (FC), entra-se nos gráficos de volume de serviço (Figs. 1 a 5).

Com estes dados, obtém-se o volume de serviço chamado "básico", em veículos por hora de tempo verde, correspondente às condições dadas e ao nível de serviço desejado.

Se a aproximação estiver dentro de todas as condições médias para as quais foi realizado o estudo, não haverá mais necessidade de correções e este já será o volume de serviço máximo para o nível especificado. Caso contrário (caso mais geral), será necessário corrigir o volume de serviço básico com relação a todas as condições que não forem idênticas às médias consideradas no método.

Em seguida, é necessário corrigi-lo em relação a sua localização dentro da área metropolitana (embaixo do gráfico) e a sua população e FPH, também embaixo do gráfico. Este volume de serviço corrigido chama-se simplesmente VOLUME DE SERVIÇO.

Como penúltimo passo, devemos corrigi-lo no que diz respeito às conversões, caminhões, ônibus diretos e ônibus locais. Acharemos então o MÁXIMO VOLUME DE SERVIÇO, em veículos por hora de tempo verde.

Finalmente, só falta transformar este volume em volume horário, o que se faz multiplicando o máximo volume de serviço pela relação G/C.

#### EQUAÇÃO GERAL

Sendo:

- VSb = volume de serviço básico
- VS = volume de serviço
- VSm = volume de serviço máximo
- FC = fator de carga
- FPH = fator de pico horário
- Fárea = fator de ajuste para área metropolitana (localização)
- Fpop = fator de ajuste para população
- Fcm = fator de ajuste para veículos comerciais
- Fon = fator de ajuste para ônibus locais
- Fcd = fator de conversão à direita
- Fce = fator de conversão à esquerda
- FG = fator global (igual ao produto de todos os fatores)

Vem que:

$$VS_b = f(\text{largura, estacionamento, circulação, FC})$$

$$VS = VS_b \cdot (F_{\text{área}}) \cdot (F_{\text{pop, FPH}})$$

$$VSm = VS \cdot (F_{cd}) \cdot (F_{ce}) \cdot (F_{cm}) \cdot (F_{on})$$

$$VSm = VS_b \cdot (F_{\text{área}}) \cdot (F_{\text{pop, FPH}}) \cdot (F_{cd}) \cdot (F_{ce}) \cdot (F_{cm}) \cdot (F_{on})$$

Figs. 1 a 5      Tab. 1    Tab. 1    Tab. 4    Figs.  
Tab. 2                      Tab. 3                      6 a 9

Este procedimento mostra o caso em que o volume de serviço é a incógnita. No caso contrário, quando o nível de serviço é a incógnita, basta realizar o processo ao contrário, tomando cuidado para **dividir** os fatores de ajuste e não multiplicá-los.

Da mesma maneira, fazendo o processo inverso, poderemos determinar a largura necessária para acomodar um certo volume num dado nível de serviço.

Em ambos os casos "inversos" citados, a resposta estará nas Figs. 1 a 5, que serão utilizadas em último lugar, depois de todos os passos anteriores.

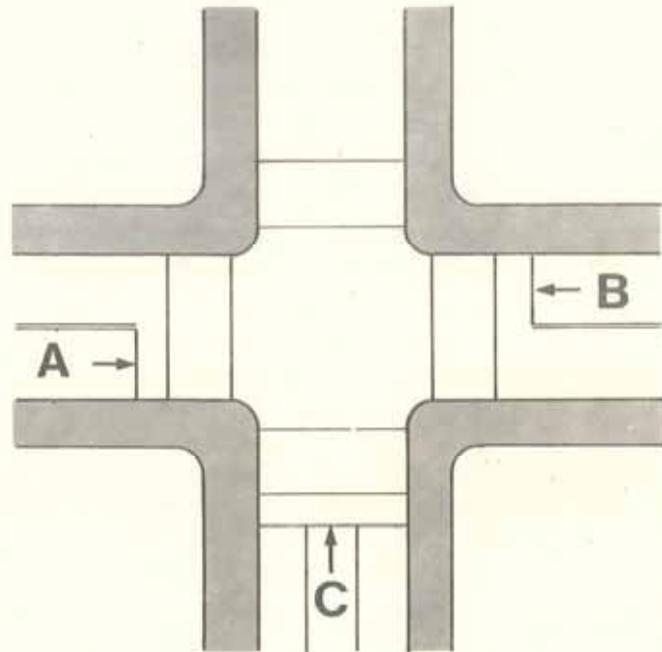
### 3.2.7 Exemplo de aplicação

Dada a interseção de uma via de sentido duplo de circulação (aproximações A e B), com outra de sentido único (aproximação C), determinar:

- a — volumes de serviço máximo da aproximação A para os níveis C e E;
- b — sabendo que a demanda na aproximação A é de 1.164v/h, determinar a relação G/C necessária para que ela opere nos níveis C e E e discutir os resultados;
- c — baseado no resultado de (b) determinar em que nível a aproximação A está operando;
- d — largura da aproximação A necessária para que ela opere no nível A, com o G/C dado.

Dados gerais:

- zona comercial, estacionamento proibido;
- população de 1.500.000, FPH de 0.80;
- operação em duas fases, com ciclo de 70s. e amarelos de 3s. cada;



	Aprox.		
	A	B	C
largura (M)	6	6	9
tempo verde	34	34	30
% conv. esq.	4	0	12
% conv. dir.	0	10	20
% comerciais	4	6	8
% onib. loc.	0	0	0

a) Equação geral

$$VSm = VSb \times \left[ \begin{array}{c} \text{Correção I} \\ F(\text{pop, FPH}) \times \text{Fárea} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \text{Correção II} \\ Fcd \times Fce \times Fcm \times Fon \end{array} \right]$$

$$VSb \xrightarrow{\text{Fig. 4}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Nível C : } VSb_c = 1400v/hTv \\ \text{Nível E : } VSb_e = 1750v/hTv \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fárea} = 1,25 \text{ (Fig. 4)} \\ \text{Fpop, FPH} = 1,11 \text{ (Fig. 4)} \\ \text{Fcd} = 1,05 \text{ (Tabela 1)} \\ \text{Fce} = 1,06 \text{ (Tabela 3)} \\ \text{Fcm} = 1,01 \text{ (Tabela 4)} \\ \text{Fon} = 1,00 \text{ (condição média)} \end{array} \right\} FG = 1,56$$

Volumes de serviços máximos:

$$VSm_c = 1.400 \times 1,56 = 2184v/hTv$$

$$VSm_e = 1.750 \times 1,56 = 2730v/hTv \text{ ("capacidade")}$$

OBSERVAÇÕES:

1 — volumes horários

Utilizando o tempo verde dado (34s.  $G/C = 0,485$ ), vem que:

$$Vh \text{ nível c } (Vh_c) = 2.184 \times 0,485 = 1.059v/h$$

$$Vh \text{ nível e } (Vh_e) = 2.750 \times 0,485 = 1.324v/h$$

- 2 — conversão à esquerda: no caso, trata-se de uma interseção simples, na qual o movimento de conversão à esquerda é pequeno (4%) e será provavelmente acomodado dentro das condições existentes. Uma maneira simplificada de verificar a situação é comparar o número médio de veículos que deseja virar, por ciclo, com o número base de 2, considerado o número de veículos que sempre consegue virar no amarelo (número mínimo). De qualquer modo, a observação local e a análise do movimento de conversão são imprescindíveis para determinar se há ou não necessidade de uma revisão das fases ou do ciclo (ver item 4.2).

b — G/C necessário

Para a determinação, deve-se utilizar a mesma equação geral, com a diferença de que, agora, a incógnita é o fator G/C

$$\text{sendo } V_h = V_{Sm} \times \frac{G}{C} \text{ vem que: } G/C = \frac{V_h}{V_{Sm}}$$

$$\text{Nível C : } G/C = \frac{1164}{2184} = 0.53 > 0.485$$

$$\text{Nível E : } G/C = \frac{1164}{2730} = 0.43 < 0.485$$

Portanto, a relação G/C, para o nível C, é superior à oferecida pelo semáforo (0.485) e, para o nível E, inferior. Desta forma, fica evidente que, com o G/C dado, a aproximação não pode operar no nível C mas, por outro lado, opera com folga no nível E.

c — Nível de serviço em que está operando

Embora o nível em que a aproximação A está operando esteja implícito no item (b), vamos determiná-lo para analisar o procedimento utilizado.

Sendo o nível de serviço a incógnita, o mesmo deverá ser encontrado nos gráficos de volume de serviço, que contém os fatores de carga. A largura é conhecida, faltando determinar o volume de serviço básico.

$$\text{Sendo } V_h = V_{Sm} \times G/C \text{ vem que: } V_{Sm} = \frac{V_h}{G/C}$$

$$\text{portanto : } V_{Sm} = \frac{1164}{0.485} = 2400v/hTv$$

$$\text{sendo } V_{Sm} = V_{Sb} \times FG \text{ vem que : } V_{Sb} = \frac{V_{Sm}}{FG}$$

$$\text{portanto : } V_{Sb} = \frac{2400}{1.56} = 1538v/hTv$$

Para saber a que nível de serviço corresponde este valor, entramos na Fig. 4 com o  $V_{Sb}$  e a largura e determinamos o FC:

$$\text{Fig. 4 : } \left. \begin{array}{l} V_{Sb} = 1.538 \\ L = 6m \end{array} \right\} FC \approx 0.7 \text{ (nível D)}$$

d — Largura da aproximação

A aproximação A, conforme visto, está operando no nível D, com a demanda e o G/C dados. Para que opere no nível A com o mesmo G/C, é evidente que a largura precisará ser maior do que a existente.

Mais uma vez, os gráficos de volume de serviço serão utilizados por último; nele, o nível de serviço é conhecido ( $A - FC = 0.0$ ), faltando o volume de serviço básico. Este pode ser conseguido através da demanda (já o foi no item c).

$$\text{sendo : } V_h = V_{Sm} \times \frac{G}{C}$$

$$\text{vem que : } V_{Sm} = \frac{V_h}{G/C} = \frac{1164}{0.485} = 2400v/hTv$$

por outro lado,  $V_{Sb} = V_{Sm}/FG = 2400/1.56 = 1.538$   
entrando na Fig. 4 com o  $V_{Sb}$  e o FC de 0,0, vem que  $L \approx 7,6m$ .

3.2.8 Comentários gerais

Gostaríamos de salientar que os valores numéricos obtidos com este método têm-se mostrado muitas vezes irreais para as condições brasileiras (inferiores ao encontrado na prática \*). Isto é perfeitamente

\* Um estudo realizado pelos eng.ºs Agenor Cremonese, Noemir Zanata e Sergio Ejzemberg, em três cruzamentos da Av. Paulista (Al. Casa Branca, Rua Haddock Lobo e Rua Peixoto Gomide), revelou que as capacidades previstas pelo método HCM foram, respectivamente, 36%, 18% e 34% menores do que as capacidades levantadas no local através de histogramas. Acreditamos, no entanto, que estes resultados não nos devem levar a conclusões absolutas e definitivas: às vezes, torna-se difícil estipular o FPH ou enquadrar a interseção num dos tipos propostos pelo método, dificuldades que podem conduzir a valores que determinarão diferenças de até 20% nos resultados.

compreensível, dada a diferença de comportamento dos motoristas, além das diferenças mecânicas e de dimensões dos veículos dos dois países. A capacidade das interseções brasileiras tem-se mostrado muitas vezes superior às previstas por este método, assemelhando-se mais às capacidades previstas pelos métodos europeus (Webster e SETRA). Isto não invalida o método do HCM, mas apenas limita sua aplicação. Este método é o único, inclusive, que trabalha com o conceito de "nível de serviço" e que, portanto, permite uma análise completa da capacidade e das condições oferecidas pela interseção.

A maior parte dos fatores por ele estudados o foi também pelos métodos europeus; há, no entanto, outros fatores e procedimentos que não foram abordados, embora fundamentais:

- a — falta o efeito da declividade nos valores da capacidade, fator indispensável para o Brasil;
- b — falta um procedimento para o cálculo do comprimento do ciclo a ser adotado. Ao final do processo mais comum deste método, é possível determinar a proporção de verde necessária para acomodar uma certa demanda num certo nível de serviço, mas não o valor do ciclo.

Assim sendo, ele é incompleto, pois na maioria das vezes é necessário determinar o valor do ciclo e, se este método for utilizado, não poderá fornecer a resposta sem a ajuda de um outro método.

Este é um dos motivos fundamentais pelos quais consideramos este um método muito mais de análise de uma situação dada, com objetivos comparativos, do que propriamente de cálculo dos tempos de verde.

### 3.3 MÉTODO DE WEBSTER

Este método, apresentado no livro *Traffic Signals* (ref. 1), analisa vários fatores imprescindíveis ao cálculo preciso e apresenta um procedimento para o cálculo do comprimento do ciclo que revolucionou os estudos nesta área.

Ele está fundamentado numa série de conceitos básicos que até então não tinham sido devidamente estudados, como o tempo morto (T), o verde "efetivo" (V) e outros.

Toda a teoria deste método está fundamentada no fato de que os tempos verdes das aproximações devem ser divididos proporcionalmente a suas relações demanda/capacidade, sendo que estes verdes devem ser retirados do verde "útil" total da interseção, que ele chama

de "verde efetivo". O ciclo, por sua vez, deve ser aquele que causa o menor atraso possível à interseção como um todo.

Discutimos, a seguir, os conceitos fundamentais envolvidos no método de Webster.

### 3.3.1 Conceitos fundamentais

#### a — Fluxo de saturação

Quando a fase verde começa, os veículos levam algum tempo para movimentar-se e atingir a velocidade de operação.

Este tempo inicial perdido, chamado "atraso inicial", foi medido por vários pesquisadores, entre eles Greenshields e Capelle (ver item 6.3). Conforme se pode notar pelo gráfico abaixo desenhado, logo no início do verde a descarga é baixa. Na medida em que o tempo passa, ela vai aumentando, até atingir um valor máximo, razoavelmente constante, chamado "fluxo de saturação" (s).

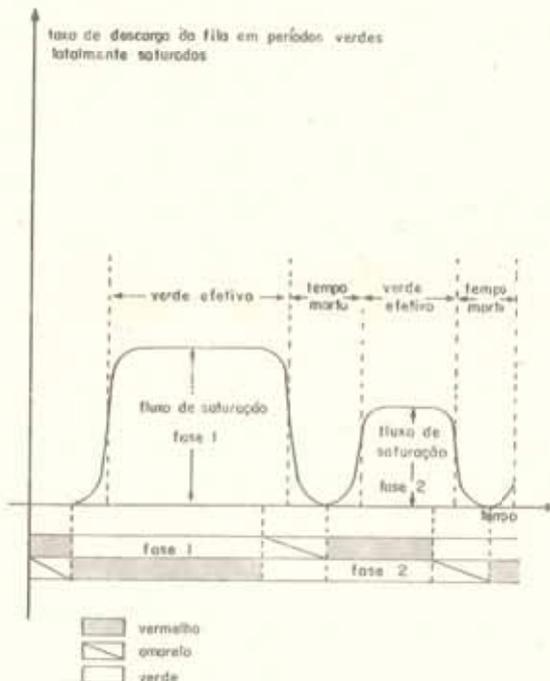
De maneira semelhante, quando aparece o amarelo, este fluxo máximo ainda continua, decaindo de acordo com o comportamento dos motoristas que se aproximam, até atingir o valor zero.

Fica evidente, então, que o tempo de verde oferecido não corresponde ao utilizado; há uma "perda" no início, assim como há um "ganho" no final.

Trabalhando com áreas semelhantes, substitui-se o verde oferecido por outro, chamado "verde efetivo" (V'); acharemos também dois "tempos mortos"; um em cada extremo (ti). Durante estes tempos mortos, teoricamente não há fluxo, pois substituímos a área inicial por um retângulo de base igual ao verde efetivo e altura igual ao fluxo de saturação; isto é feito também de tal modo que o produto entre eles seja igual ao número de veículos liberados em média num período saturado (u).

O tempo morto, conforme veremos adiante, está ligado diretamente ao "atraso inicial", e ao tempo de amarelo.

GRÁFICO 2: Fluxo de saturação, verde efetivo e tempos mortos



sendo:

$v$  = verde real

$A$  = amarelo

$v'$  = verde efetivo

$t$  = tempo morto da fase

$u$  = n.º máximo médio de veículos utilizando a fase

$s$  = fluxo de saturação

vem que:

$$v' \cdot s = u \text{ e } t = v + A - v'$$

b — Tempo morto

O tempo morto corresponde aos atrasos iniciais e às reduções de fluxo durante o amarelo e é definido por Webster como a diferença entre o "verde efetivo" e a soma dos tempo de verde e amarelo [  $t = (V+A) - V'$  ].

Nos casos em que há "vermelho total" (item 6.2), muito comum na Inglaterra, este significa tempo morto, ficando a expressão do tempo morto total do cruzamento, por ciclo, igual a:

$$T = \sum (l-a) + \sum t \quad \text{onde:}$$

- T = tempo morto total da interseção, por ciclo, em segundos.
- l = **intergreen**, ou seja, período entre os verdes, definido como o tempo entre o fim do tempo verde de uma fase que está perdendo o direito de passagem e o início de outra que o está ganhando. Na Inglaterra, este intervalo contém geralmente um "vermelho total" item 6.2); no Brasil, o **vermelho total** é raro, sendo o **intergreen** composto apenas (geralmente) do amarelo.
- t = tempo morto de cada fase, em segundos.
- a = tempo de amarelo de cada fase, segundos.

Webster dá, como tempo morto médio na cidade de Londres, o valor de 2s. (faixa encontrada de 0 a 7s.). Imaginando que o amarelo seja sempre de 3s., a expressão acima fica  $T = \sum (l-1)$ . Devido ao fato dos **intergreens** serem longos na Inglaterra, esta expressão atinge freqüentemente 8 a 10s. para interseção operando em duas fases.

Podemos verificar então que o tempo morto total, quando o **intergreen** é composto apenas de amarelo, torna-se igual à soma dos tempos mortos das fases, que é o caso mais geral no Brasil.

Recomenda-se determinar o tempo morto no local, através de histogramas de cada fase \*. Na impossibilidade deste levantamento, um valor aproximado para o tempo morto total do cruzamento por ciclo pode ser adotado como numericamente igual à soma dos tempos amarelos das fases envolvidas (notar que esta é uma experiência local, da CET, não tendo sido diretamente recomendada por Webster; não é aconselhável, também, para interseções nas quais ocorram situações anômalas: alta porcentagem de caminhões, geometria complexa, grandes distâncias a vencer etc.).

\* Histogramas — para detalhes, ver Boletim Técnico CET n.º 6, Engenharia de Campo.

c — Taxa de ocupação ( $y_i$ )

A relação fundamental do método de Webster é a que aparece também em outros métodos: a relação entre demanda (Q) e fluxo de saturação (S):

$$y_i = \frac{Q_i}{S_i} \quad \text{onde :} \quad \begin{array}{l} Y_i = \text{taxa de ocupação da aproximação } i \\ Q_i = \text{demanda da aproximação } i \\ S_i = \text{fluxo de saturação da aproximação } i \end{array}$$

Esta taxa de ocupação mostra o quanto a aproximação é solicitada pela demanda presente, com relação à capacidade que pode ser oferecida.

Teoricamente, Y varia de ZERO (demanda nula) até infinito (demanda teoricamente infinita com relação à capacidade).

Na verdade, não tem sentido falar-se em demanda infinita e, na prática, ela raramente atinge ou suplanta a capacidade, a não ser em interseções críticas de grandes metrópoles.

A interseção como um todo tem uma capacidade global. Fica evidente, então, que as aproximações conflitantes devem dividir esta capacidade entre si. Assim, numa interseção de duas fases, a taxa de ocupação de uma aproximação fatalmente deverá ser contraposta à outra e a soma, teoricamente, não pode ser maior do que a unidade. Na verdade, como veremos mais à frente na discussão do ciclo ótimo, esta soma normalmente não pode passar de 0,85/0,90.

Desta forma, por exemplo, torna-se difícil considerar valores individuais de Y superiores a 0,85 pois, nestes casos, já está configurada a situação de congestionamento total, pois a divisão da capacidade da interseção com a via transversal se revela insuficiente (teoricamente, sobra 0,15 para esta última).

Estas situações são encontradas em alguns cruzamentos críticos da cidade de São Paulo, nos quais a soma das taxas de ocupação das fases suplanta a unidade, tornando matematicamente impossível a operação sem congestionamento da interseção, a menos que mudanças na demanda ou na geometria sejam tentadas.

d — Ciclo ótimo

Webster desenvolveu, derivando a equação do atraso geral do cruzamento em relação ao ciclo, uma expressão que fornece o "ciclo ótimo", ou seja, aquele que causa o mínimo atraso geral na interseção\*.

\* Para maiores detalhes quanto à derivação e eliminação de termos desprezíveis, ver *Traffic Signals Settings*, Webster, HMSO, Technical paper n.º 39.

Esta expressão é:

$$Co = \frac{1,5T+5}{1-Y} \quad \text{onde :}$$

$Co$  = ciclo ótimo, em segundos;  
 $T$  = tempo morto total do cruzamento, por ciclo, em segundos;  
 $Y$  = somatório das taxas de ocupação das fases.

Recomenda, para uso prático, os limites de 25 e 120s. para o tempo de ciclo.

Conforme se pode verificar pela fórmula, o somatório das taxas de ocupação não pode nem ser igual à unidade, pois neste caso, o ciclo tenderia ao infinito.

Mesmo para valores a partir de 0,90 o comprimento do ciclo será geralmente muito alto, difícil de implantar na prática, quer pelas possibilidades mecânicas das máquinas controladoras, quer pelo aspecto psicológico dos motoristas.

Embora o valor encontrado também dependa do tempo morto, pode-se dizer que, de maneira geral, valores de  $Y$  superiores a 0,85 têm grande possibilidade de produzir comprimentos de ciclo impraticáveis (ver 3.ª observação a seguir, "Taxa de ocupação prática da interseção").

Por outro lado, deve-se notar também que pequenas diferenças no tempo morto, ou nas taxas de ocupação, produzirão diferenças sensíveis no comprimento do ciclo. Este é um dos problemas desta equação, razão pela qual sempre se recomenda a medição, no local, dos fluxos de saturação e dos tempos mortos.

Em todo o caso, os estudos de Webster provaram que ciclos na faixa de 0,75 a 1,50 do ciclo ótimo produzem atrasos não superiores a 10 ou 20% do atraso geral que se obteria com o ciclo ótimo.

#### OBSERVAÇÕES:

##### 1 — ciclo mínimo

O ciclo mínimo, capaz de liberar exatamente a demanda presente, e associado a atrasos elevados, é dado por:

$$Cm = \frac{T}{1-Y} \quad \text{onde :}$$

$T$  = tempo morto total do cruzamento, por ciclo, em segundos;  
 $Y$  = somatório das taxas de ocupação das fases;  
 $Cm$  = ciclo mínimo, em segundos.

- 2 — taxa de ocupação máxima da interseção, que pode ser acomodada:

Em função da observação 1, esta taxa é dada por:

$$Y = 1 - T/C_m \quad \text{onde } C_m = \text{ciclo prático máximo} \\ \text{(geralmente 120s).}$$

- 3 — taxa de ocupação prática

Webster recomenda, para se obterem atrasos aceitáveis, que esta capacidade (taxa de ocupação máxima) não seja atingida a mais de 90% ou seja:  $Y_{\text{prática}} = 0,9 - 0,9 (T/C_m)$

Se, na prática, o ciclo máximo for 120s:  $Y_{\text{prát.}} = 0,9 - 0,0075T$

- 4 — reserva de capacidade

Em função do exposto anteriormente, a reserva de capacidade, em porcentagem, é dada por:

$$rc = 100 \left( \frac{Y_{\text{prát.}} - Y}{Y} \right)$$

Esta capacidade significa o quanto pode crescer a demanda sem que seja preciso alterar o valor do ciclo calculado.

- e — Determinação dos tempos de verde efetivo

Através de outra derivação da equação do atraso geral no cruzamento, chegou-se à conclusão de que o mínimo atraso geral seria obtido se se igualasse a razão entre as taxas de ocupação das fases conflitantes à razão entre seus verdes efetivos.

A relação é:

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{V'_1}{V'_2} \quad \text{onde: } \begin{array}{l} Y_1 = \text{taxa de ocupação da fase 1} \\ Y_2 = \text{taxa de ocupação da fase 2} \\ V'_1 = \text{verde efetivo da fase 1 (segundos)} \\ V'_2 = \text{verde efetivo da fase 2 (segundos)} \end{array}$$

Esta relação pode ser estendida a interseções de três ou mais fases. Sendo  $(C - T)$  o verde efetivo total do ciclo e  $Y$  o somatório das taxas de ocupação, vem que:

$$V'_1 = \frac{Y_1}{Y} (C - T)$$

$$V'_2 = \frac{Y_2}{Y} (C - T)$$

Assim, o verde efetivo total da interseção  $(C - T)$ , é dividido proporcionalmente entre as fases, na razão com que as suas taxas de ocupação individuais estão para com a taxa de ocupação da interseção.

## f — Determinação dos tempos de verde reais

Os tempos de verde reais, que vão ser implantados na máquina controladora, precisam então ser determinados.

Nos casos em que o tempo morto é numericamente igual aos amarelos (procedimento prático recomendado no item "tempo morto"), o verde real será igual ao efetivo. Caso contrário será necessário determiná-lo, o que se faz somando ao verde efetivo o tempo morto e dele diminuindo o amarelo. Vejamos:

$$\text{sendo: } t = (V+A) - V' \rightarrow V = V' + t - A$$

## 3.3.2 Fatores determinantes da capacidade

## a — Largura da aproximação

A relação entre largura da aproximação (sem veículos estacionados, nem movimentos de conversão à esquerda e com 10% de conversões à direita) e o fluxo de saturação é dada pela fórmula:

$$S = 525 L \quad \text{onde: } \begin{array}{l} S = \text{fluxo de saturação, em veículos por hora} \\ \text{de tempo verde (v/htv)} \\ L = \text{largura da aproximação, em metros} \end{array}$$

OBS.: A relação é igual a  $S = 160w$  no original, sendo  $w$  (largura) em pés.

O resultado é válido para  $5,5 \leq L \leq 18,0\text{m}$ . Para valores menores, são fornecidos os fluxos de saturação:

L (m)	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2
S (v/htv)	1.850	1.875	1.900	1.950	2.075	2.250	2.475	2.700

A largura deve ser constante ao longo do que é denominado "aproximação"—comprimento que acomodaria exatamente a fila que passaria pela interseção num período verde saturado.

A capacidade horária é dada, então, pelo produto do fluxo de saturação pela porcentagem de verde dedicada à aproximação. Assim:

$$C = \left(\frac{V'}{c}\right) S \quad \text{onde: } \begin{array}{l} C = \text{capacidade horária da aproximação} \\ \text{(v/h)} \\ V' = \text{verde efetivo da aproximação} \\ \text{(segundos)} \\ S = \text{fluxo de saturação da aproximação} \\ \text{(v/htv)} \\ c = \text{ciclo (segundos)} \end{array}$$

## b — Declividade

Deve-se reduzir o fluxo de saturação de 3% para cada 1% de subida, no máximo de 10% de declividade; deve-se aumentá-lo de 3% para

cada 1% de descida, num máximo de 5% de declividade.

A declividade é definida como a taxa média entre a linha de retenção e um ponto na aproximação situado 60m antes dela, sendo que esta declividade continua através da interseção.

#### c — Veículos comerciais

É corrigido através de coeficientes de equivalência, que transformam os veículos que não sejam "leves" em um número equivalente de veículos de passageiros (vp). Os coeficientes são:

1 caminhão médio ou pesado	=	1,75vp
1 caminhão leve	=	1,00vp
1 ônibus	=	2,25vp
1 caminhão "conjugado"	=	2,50vp
1 motocicleta	=	1/3vp
1 bicicleta	=	1/5vp

Verificou-se que estes coeficientes são os mesmos para aproximações não planas (dentro dos limites de declividade discutidos anteriormente).

#### d — Efeito de localização

O método classifica as localizações em três tipos: "boa", "média" e "ruim", e fornece os valores do fluxo de saturação com relação à condição "média", adotada como valor-base de 100. A tabela abaixo fornece os dados completos (podem-se interpolar os valores se considerado necessário).

Condição	Descrição	% do fluxo padrão de saturação
boa	interferência não significativa de pedestres, veículos estacionados, conversões à esquerda; boa visibilidade e raios de curvatura adequados.	120
média	algumas características de "bom" e "ruim"; condições "médias".	100
ruim	velocidade média baixa; interferência significativa por parte de pedestres, veículos estacionados, conversões à esquerda; visibilidade ruim; rua comercial movimentada.	85

e — Veículos estacionados

O efeito dos veículos estacionados é dado em termos de perda de largura útil na linha de retenção, através da fórmula:

$$p = 1,68 - 0,9 \left( \frac{z - 7,6}{k} \right) \quad \text{onde :}$$

$p$  = perda de largura, em metros  
 $z$  = distância entre a linha de retenção e o primeiro veículo estacionado, em metros  
 $k$  = tempo verde da aproximação, em segundos

Há, no entanto, algumas condições:

a —  $z > 7,6\text{m}$  (se  $z < 7,6\text{m}$ , adotar  $z = 7,6$ );

b — se toda a expressão torna-se negativa, adotar a perda como zero; e

c — se o veículo estacionado é pesado, aumentar a perda de 50%.

OBS.: o tempo verde nem sempre é conhecido (pode ser a incógnita); neste caso, adotar 30s. e corrigir posteriormente, se o erro for excessivo (notar que este aspecto não é diretamente comentado por Webster, tendo sido por nós incluído, baseado no exposto no método SETRA, que contém os mesmos princípios fundamentais deste).

f — Efeito de conversão à esquerda

O efeito da conversão à esquerda é tratado com certa sofisticação por Webster, dependendo da existência ou não de tráfego oposto e faixa especial para realizar o movimento.

O procedimento geral, para os casos mais complexos, em que é necessário analisar a possibilidade de alguns veículos ficarem retidos no final do verde sem conseguir virar, é discutido no item 4 "tratamento de conversão à esquerda".

Para os casos mais simples, em que a porcentagem de conversões é baixa e o tráfego oposto não é muito alto (maioria das interseções simples), Webster recomenda, para coeficiente de equivalência, o fator 1,75: cada veículo que vira à esquerda, vale 1,75 de um que vai em frente.

g — Efeito de conversão à direita

O movimento de conversão à direita depende da curvatura e do número de pedestres que cruzam a transversal. De maneira geral, a equação do fluxo de saturação, dependente do raio de curvatura, dada para a conversão à esquerda (item 4), pode ser aplicada para conversão à direita.

No entanto, como na equação geral do fluxo de saturação mostrada anteriormente (em função da largura da aproximação) está implícita uma porcentagem de 10% de conversões à direita, somente para valores maiores do que este é que se deve corrigir o efeito.

Assim sendo, para conversões à direita a mais do que 10%, deve-se assumir cada veículo que vira como equivalente a 1,25 de um veículo que vai em frente.

### 3.3.3 Procedimento geral

- a — com as larguras de cada aproximação, achar os fluxos de saturação por hora de tempo verde, ou levantá-los no local através de histogramas de fluxo;
- b — corrigir os fluxos de saturação quanto à declividade, localização, perda de largura por estacionamento, conversões e presença de veículos comerciais;
- c — determinar as taxas de ocupação ( $y_i$ ) de cada aproximação (usando a demanda obtida por contagem) e escolher a mais alta de cada fase;
- d — com os tempos mortos das fases (medidos no local ou adotados como iguais aos tempos de amarelo — ver item "tempo morto" 3.3.1 a), e as taxas de ocupação, determinar o ciclo ótimo para a interseção; e
- e — com as taxas de ocupação das fases, o ciclo e o tempo morto total da interseção, determinar os verdes efetivos de cada fase.

#### OBSERVAÇÕES:

- 1 — as correções, devido à presença de veículos lentos e movimentos de conversão, poderiam ser feitas sobre a demanda medida, transformando-a em "demanda equivalente", analogamente ao método do SETRA.
- 2 — **verdes reais:** se o tempo de limpeza contiver "vermelho total", os verdes reais, diferentes dos efetivos calculados, precisarão ser calculados; isto se faz somando ao verde efetivo o tempo morto e subtraindo a amarelo (ver "tempo morto").
- 3 — **escolha do ciclo:** nos casos em que se for implantar um único programa para a interseção, a determinação do ciclo a implantar poderá ser feita da maneira sugerida por Webster:
  - calcular o ciclo ótimo para cada uma das horas do dia com carregamentos médios ou altos (por exemplo, das 7 da manhã às 7 da tarde), fazendo a média geral;

- calcular o ciclo ótimo para a hora mais carregada do dia e assumir 3/4 do seu valor; e
- escolher o maior dos dois valores determinados acima como o ciclo único a ser implantado.

4 — **dados úteis:** para efeito de análise da situação geral, pode-se determinar a taxa de ocupação prática máxima ( $Y_{prát}$ ), a reserva de capacidade ( $rc$ ) e o grau de saturação ( $x$ ).

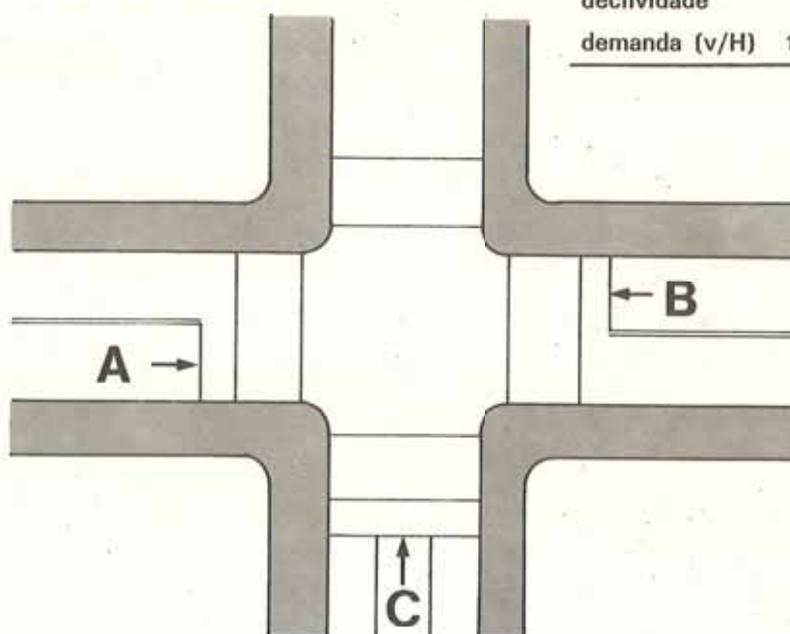
### 3.3.4 Exemplo de aplicação

Dada a interseção de duas vias, uma de sentido duplo e a outra de sentido único, dimensionar os tempos de verde.

Dados gerais:

- estacionamento proibido em A e B
- estacionamento permitido em C, a partir da linha de retenção
- localização "média"

	Aprox.		
	A	B	C
largura (m)	6	6	10
% comerciais	5	3	4
% conv. e'sq.	0	10	15
% conv. dir.	4	0	10
declividade	0	0	+3
demanda (v/H)	1.000	700	1.500



a — Fluxos de saturação básicos

Aprox.	L (m)	S (v/htv)	
A	6	3150	(S = 525L)
B	6	3150	
C	10	5250	

b — Fatores de correção do fluxo de saturação

• declividade :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Aprox. A : } 1,00 \\ \text{Aprox. B : } 1,00 \\ \text{Aprox. C : } 0,91 \end{array} \right.$

• localização : coeficientes unitários (condições "média")

• perda por estacionamento

A → 0,0

B → 0,0

C →  $p = 1,68 - \frac{0,9(z-7,6)}{k}$       $z \cong 1,0m \longrightarrow z = 7,6m$

$p = 1,68 - \frac{0,9(7,6-7,6)}{30}$       $\therefore p = 1,68m$

fator =  $\frac{10-1,68}{10} = 0,83$

• veículos comerciais (fator 1,75)

VA = 1.000v/h  $\xrightarrow{5\%} 50 = 88vp$       $\therefore V'A = 1038vp$

VB = 700v/h  $\xrightarrow{3\%} 21 = 37vp$       $\therefore V'B = 716vp$

VC = 1.500v/h  $\xrightarrow{4\%} 60 = 105vp$       $\therefore V'C = 1545vp$

Fatores de correção  $\left\{ \begin{array}{l} \text{A} \longrightarrow 1.000/1038 = 0,96 \\ \text{B} \longrightarrow 700/716 = 0,98 \\ \text{C} \longrightarrow 1.500/1545 = 0,97 \end{array} \right.$

• conversão à direita

A → 1,00 (conversão de 10%)

B → 1,00 (conversão de 10%)

C → Tendo 15%, para cada excedente de 1%, o fator é 1,25

5% de 1500 = 75 →  $75 \times 1,25 = 94vp$

$\therefore V'C = 1519vpd$      Fator =  $\frac{1500}{1519} = 0,99$

• conversão à esquerda

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l} 4\% \\ A \longrightarrow 0,04 \times 1000 = 40 \rightarrow 40 \times 1,75 = 70 \therefore V'A = 1030 \text{vpd} \end{array} \\
 \begin{array}{l} 0\% \\ B \longrightarrow 1,00 \end{array} \\
 \begin{array}{l} 10\% \\ C \longrightarrow 1,00 \text{ (mão única, usa como conversão à direita)} \end{array}
 \end{array}
 \quad \text{Fator} = 1000/1030 = 0,97$$

c — Correção dos fluxos de saturação

$$S_{\text{final}} = S_{\text{básico}} \times f_{\text{est}} \times f_{\text{local}} \times f_{\text{decl}} \times f_{\text{cm}} \times f_{\text{cd}} \times f_{\text{ce}}$$

$$\begin{array}{l}
 A \rightarrow S_{\text{fa}} = 3150 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,96 \times 1,00 \times 0,97 = 2933 \text{v/htv} \\
 B \rightarrow S_{\text{fb}} = 3150 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,98 \times 1,00 \times 1,00 = 3087 \text{v/htv} \\
 C \rightarrow S_{\text{fc}} = 5250 \times 0,83 \times 1,00 \times 0,91 \times 0,97 \times 0,99 \times 1,00 = 3808 \text{v/htv}
 \end{array}$$

d — Taxas de ocupação

$$Y_A = \frac{1000}{2933} = 0,34$$

$$Y_B = \frac{700}{3087} = 0,23 \quad \Sigma y_i = Y = 0,34 + 0,39 = 0,73$$

$$Y_C = \frac{1500}{3808} = 0,39$$

e — Tempo morto e ciclo ótimo

Assumindo o tempo morto igual à soma dos amarelos (6s), vem que:

$$C_o = \frac{1,5 \times 6 + 5}{1 - 0,73} = 52 \text{s (adotado de 50s)}$$

f — Verde efetivo total da interseção

$$V' = C - T = 50 - 6 = 44 \text{s}$$

g — Verdes efetivos das aproximações

$$V'A = \frac{0,34}{0,73} (44) = 20 \text{s}$$

$$V'C = \frac{0,39}{0,73} (44) = 24 \text{s}$$

OBS.: Os verdes efetivos corresponderão aos reais, já que o tempo morto coincide com a soma dos amarelos.

h — Verificação da conversão à esquerda

Ver exemplo numérico no item 4, "tratamento de conversão à esquerda".

i — Taxa de ocupação prática máxima

$$Y_{\text{prat}} = 0,9 - 0,0075 T$$

$$Y_{\text{prat}} = 0,9 - 0,045 \quad \therefore \quad Y_{\text{prat}} = 0,855$$

j — Reserva de capacidade

$$rc = 100 \left( \frac{Y_{\text{prat}} - y}{Y} \right) = 100 \left( \frac{0,855 - 0,73}{0,73} \right)$$

$$rc = 17,12\%$$

k — Graus de saturação (Ver "atraso médio por veículo")

$$\text{Aprox. A} \rightarrow X = \frac{20}{50} = 0,4 \quad \therefore \quad HX_A = \frac{1000}{0,4 \times 2933} = 0,85$$

$$\text{Aprox. B} \rightarrow X = \frac{20}{50} = 0,4 \quad \therefore \quad HX_B = \frac{700}{0,4 \times 3087} = 0,57$$

$$\text{Aprox. C} \rightarrow X = \frac{24}{50} = 0,48 \quad \therefore \quad HX_C = \frac{1500}{0,48 \times 3808} = 0,82$$

### 3.3.5 Comentários gerais

Conforme visto, trata-se de um método completo, que permite a determinação dos tempos verdes e do comprimento do ciclo de tal maneira a causar o menor atraso geral possível na interseção.

Além disso, aborda praticamente todos os fatores que interferem no valor da capacidade e apresenta cálculos complementares que permitem uma avaliação mais precisa das condições encontradas, como a reserva de capacidade, o grau de saturação e outros.

Assim sendo, trata-se de um método extremamente útil para o Brasil, especialmente se levarmos em consideração que as capacidades

levantadas por histogramas em São Paulo têm-se mostrado bem próximas das previstas por este método (ao contrário das previstas pelo HCM). Especificamente a este respeito, ver anexo 6.4.

### 3.3.6 Dados úteis ao cálculo

Damos a seguir alguns dados que consideramos úteis à análise das interseções semaforizadas.

As equações e termos aparecem aqui de maneira simplificada; recomenda-se a leitura da bibliografia citada para maiores detalhes.

#### 1 — proporção de veículos detidos

A proporção de veículos detidos numa aproximação é dada por:

$$p = \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \quad \text{onde : } \begin{array}{l} p = \text{proporção (\%)} \\ \lambda = \text{relação entre verde efetivo e ciclo} \end{array}$$

#### 2 — fila média

A fila média; no início do verde, é dada por:

$$N = q \left( \frac{r}{2} + d \right) \quad \text{onde : } \begin{array}{l} N = \text{fila média, em veículos} \\ q = \text{fluxo (v/s)} \\ r = \text{vermelho efetivo (segundos),} \\ \text{análogo ao verde efetivo de Webster} \end{array}$$

ou

$$N = qr$$

(tomar o maior dos dois)  $d = \text{atraso médio por veículo (segundos)}$

#### 3 — grau de saturação

$$\text{É dado por } X = \frac{q}{\lambda S} \quad \text{onde : } \begin{array}{l} q = \text{demanda (v/h)} \\ \lambda = \text{relação entre "verde efetivo" e ciclo} \\ S = \text{fluxo de saturação (v/htv)} \end{array}$$

O grau de saturação mostra o quanto a demanda (q) está próxima da capacidade horária da aproximação (S) nas condições existentes e é um excelente indicador da "qualidade" do atendimento. Ele tem, inclusive, uma certa semelhança com o fator de carga discutido pelo método do **Highway Capacity Manual**, no que tange ao que indiretamente representam (um certo "nível de serviço").

Notar que, se a proporção de verde dedicada à aproximação for alterada, o grau de saturação também se modificará.

4 — atraso médio por veículos

É dado por:

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{c}{q^2}\right)^{1/3} \cdot x^{(2+52)}$$

onde :

d = atraso médio por veículo (segundos)

c = ciclo (segundos)

$\lambda$  = relação entre verde efetivo e ciclo ( $v'/c$ )

x = grau de saturação, igual à razão entre a demanda horária e o fluxo de saturação máximo ( $x = q/\lambda s$ )

q = demanda, em veículos por segundo ou v/hora  
(ver exercício)

O terceiro termo da equação varia na faixa de 5 a 10% do atraso médio (d), o que permite fazer uma aproximação nos seguintes termos:

$$d = \frac{9}{10} \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right]$$

Simplificando a fórmula, para facilitar os cálculos, vem:

$$d = cA + \frac{B}{q} - C \quad \text{onde :}$$

$$A = \frac{(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} \quad (\text{Tab. 1})$$

$$B = \frac{x^2}{2(1-x)} \quad (\text{Tab. 2})$$

(Equação simplificada do atraso)

C é uma percentagem dos dois primeiros termos, dado na Tabela 3

Damos, a seguir, as tabelas relativas aos termos A, B e C.

$$\frac{(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)}$$

TABELA 1: Tabulação de A =

x	0.1	0.2	0.3	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90
0.1	0.409	0.327	0.253	0.219	0.188	0.158	0.132	0.107	0.085	0.066	0.048	0.022	0.005
0.2	0.413	0.330	0.261	0.227	0.196	0.166	0.139	0.114	0.091	0.070	0.052	0.024	0.006
0.3	0.418	0.340	0.269	0.236	0.205	0.175	0.147	0.121	0.098	0.076	0.057	0.026	0.007
0.4	0.422	0.348	0.278	0.246	0.214	0.184	0.156	0.130	0.105	0.083	0.063	0.029	0.008
0.5	0.426	0.356	0.288	0.256	0.225	0.195	0.167	0.140	0.114	0.091	0.069	0.033	0.009
0.55	0.429	0.360	0.293	0.262	0.231	0.201	0.172	0.145	0.119	0.095	0.073	0.036	0.010
	0.431	0.364	0.299	0.267	0.237	0.207	0.179	0.151	0.125	0.100	0.078	0.038	0.011
0.65	0.433	0.368	0.304	0.273	0.243	0.214	0.185	0.158	0.131	0.106	0.083	0.042	0.012
0.70	0.435	0.372	0.310	0.280	0.250	0.221	0.192	0.165	0.138	0.112	0.088	0.045	0.014
0.75	0.438	0.376	0.316	0.286	0.257	0.228	0.200	0.172	0.145	0.120	0.095	0.050	0.015
0.80	0.440	0.381	0.322	0.293	0.265	0.236	0.208	0.181	0.154	0.128	0.102	0.056	0.018
0.85	0.443	0.386	0.329	0.301	0.273	0.245	0.217	0.190	0.163	0.137	0.111	0.063	0.021
0.90	0.445	0.390	0.336	0.308	0.281	0.254	0.227	0.200	0.174	0.148	0.122	0.071	0.021
0.92	0.446	0.392	0.338	0.312	0.285	0.258	0.231	0.205	0.179	0.152	0.127	0.076	0.029
0.94	0.447	0.394	0.341	0.315	0.288	0.262	0.236	0.210	0.183	0.157	0.132	0.081	0.032
0.96	0.448	0.396	0.344	0.318	0.292	0.266	0.240	0.215	0.189	0.163	0.137	0.086	0.037
0.98	0.449	0.398	0.347	0.322	0.296	0.271	0.245	0.220	0.194	0.169	0.143	0.093	0.042

TABELA 2: Tabulação de  $B = \frac{x^2}{2(1-x)}$

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.006	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.022
0.2	0.025	0.028	0.031	0.034	0.038	0.042	0.046	0.050	0.054	0.059
0.3	0.064	0.070	0.075	0.081	0.088	0.094	0.101	0.109	0.116	0.125
0.4	0.133	0.142	0.152	0.162	0.173	0.184	0.196	0.208	0.222	0.235
0.5	0.250	0.265	0.282	0.299	0.317	0.336	0.356	0.378	0.400	0.425
0.6	0.450	0.477	0.506	0.530	0.569	0.604	0.641	0.680	0.723	0.768
0.7	0.817	0.869	0.926	0.983	1.05	1.13	1.20	1.29	1.38	1.49
0.8	1.60	1.73	1.87	2.03	2.21	2.41	2.64	2.91	3.23	3.60
0.9	4.05	4.60	5.28	6.18	7.36	9.03	11.5	15.7	24.0	49.0

TABELA 3: Tabulação C (como porcentagem dos dois primeiros termos da equação simplificada)

x	$\lambda$	M	25	5	10	20	40
0-3	0-2		2	2	1	1	0
	0-4		2	1	1	0	0
	0-6		0	0	0	0	0
	0-8		0	0	0	0	0
0-4	0-2		6	4	3	2	1
	0-4		3	2	2	1	1
	0-6		2	2	1	1	0
	0-8		2	1	1	1	1
0-5	0-2		10	7	5	3	2
	0-4		6	5	4	2	1
	0-6		6	4	3	2	2
	0-8		3	4	3	3	2
0-6	0-2		14	11	8	5	3
	0-4		11	9	7	4	3
	0-6		9	8	6	5	3
	0-8		7	8	8	7	5
0-7	0-2		18	14	11	7	5
	0-4		15	13	10	7	5
	0-6		13	12	10	8	6
	0-8		11	12	13	12	10
0-8	0-2		18	17	13	10	7
	0-4		16	15	13	10	8
	0-6		15	15	14	12	9
	0-8		14	15	17	17	15
0-9	0-2		13	14	13	11	8
	0-4		12	13	13	11	9
	0-6		12	13	14	14	12
	0-8		13	15	16	17	17
0-95	0-2		8	9	9	9	8
	0-4		7	9	9	10	9
	0-6		7	9	10	11	10
	0-8		7	9	10	12	13
0-975	0-2		8	9	10	9	8
	0-4		8	9	10	10	9
	0-6		8	9	11	12	11
	0-8		8	10	12	13	14

OBS.: M = qc (número médio de veículos chegando por ciclo)

EXEMPLO NUMÉRICO (ATRASO MÉDIO)

Dada uma aproximação com as seguintes características:

- demanda : 1.000v/h
- fluxo de saturação : 2.500v/hvt
- ciclo : 60s.
- tempo verde : 30s.
- amarelo : 3s.
- tempo morto (adotado) : 3s.

Calcular o atraso médio por veículo.

Solução : equação simplificada do atraso

$$d = cA + \frac{B}{q} - C$$

a — Determinação de A

$$c = 60s$$

verde efetivo (V') = V + A - t (idêntico ao real, pois o tempo morto é igual ao amarelo)

$$V' = 30 + 3 - 3 = 30s$$

$$\therefore \lambda = \frac{V'}{C} = \frac{30}{60} = 0,50 \quad \text{Tab} \rightarrow A = 0.208$$

$$x = \frac{q}{\lambda_s} = \frac{1000}{0,50 (2500)} = 0.80 \quad \therefore CA = 12.48s$$

b — Determinação de B

$$\text{Tab} \rightarrow x = 0,80 \rightarrow B = 1,60$$

$$\therefore \frac{B}{q} = \frac{1,60}{1000/3600} \quad \therefore \frac{B}{q} = 5,71s$$

c — Determinação de C

$$M = q \cdot c = \left(\frac{1000}{3600}\right) 60 = 16,7 \quad \text{Tab} \rightarrow C \cong 12$$

$$x = 0,80$$

$$\lambda = 0,50$$

$$d - \left(cA + \frac{B}{q}\right) = 1,48 + 5,71 = 18,19s$$

$$e - \text{Atraso} : d = 18,19 - \frac{12}{100} (19,19) \quad \therefore d = 16,00s$$

### 3.4 MÉTODO DO SETRA ("Service d'Etudes Techniques de Routes et Autoroutes")

#### 3.4.1 Caracterização SETRA

Este método está discutido no livro **Carrefours a Feux**, Ministère de L'équipement et Logement, SETRA, França.

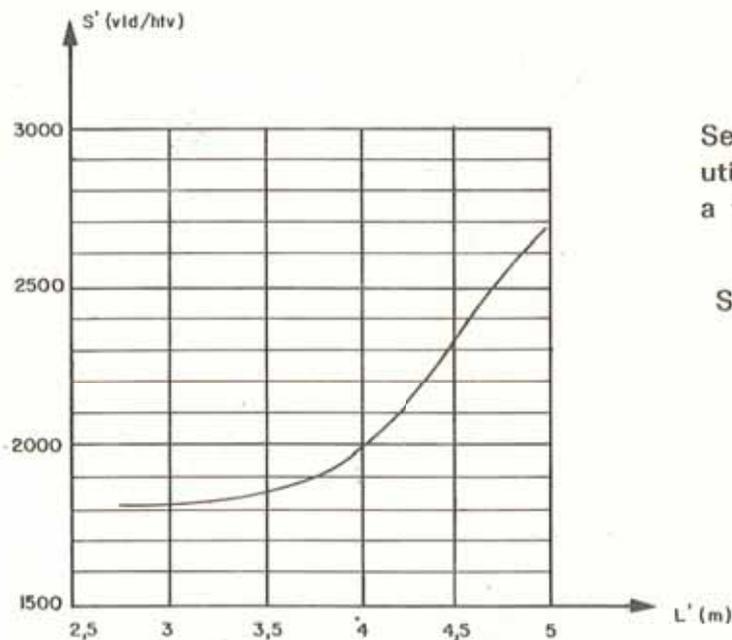
Apresenta os mesmos conceitos fundamentais do método Webster, pois é derivado deste. Utiliza, portanto, os termos "tempo morto", "verde efetivo\*", "ciclo ótimo", "fluxo de saturação" etc., além de discutir os mesmos fatores determinantes da capacidade (com exceção do relativo à população, inexistente no outro). Apresenta, todavia, valores numéricos geralmente diferentes para os coeficientes de correção, além de um processo mais prático para corrigir a demanda e o fluxo de saturação.

Damos, a seguir, os coeficientes de correção apresentados por este método.

#### 3.4.2 Fatores de correção

a — Largura da aproximação — fluxo de saturação (S)

O fluxo de saturação "bruto" (S'), é determinado pela curva abaixo desenhada.



\* Há, neste método, três tipos de verde: o verde "real" dado pela máquina controladora, o verde "efetivo" igual ao real mais o tempo de amarelo e o verde "útil", que é o efetivo menos o tempo morto.

b — Efeito de veículos estacionados

Neste método, este efeito é dado também em termos de "perda" de largura real. A largura corrigida chama-se "largura útil" e é dada por:

$$L' = L - 1,65 + 0,03 (D - 7,5) - \frac{n}{60}$$

onde :  $L'$  = largura útil, em metros

$L$  = largura real, em metros, medida da guia à linha divisória, no caso de via de sentido duplo e, de guia a guia, no caso de via de sentido único

$D$  = distância entre a linha de retenção e o primeiro veículo estacionado, em metros

$n$  = número de manobras por hora (a menos de 50m da linha de retenção)

Esta fórmula só se aplica para  $D \leq 62$ m. Caso contrário, adotar uma perda de largura igual a zero ( $L' = L$ )

Para o caso de via de mão única, com estacionamento dos dois lados, usar:

$$L' = L - 3,30 + 0,03 (D_1 + D_2 - 15) - \frac{n_1 + n_2}{60}$$

onde :  $D_1$  = distância de estacionamento no lado direito (metros)

$D_2$  = distância de estacionamento no lado esquerdo (metros)

$n_1$  = número de manobras por hora no lado direito

$n_2$  = número de manobras por hora no lado esquerdo

OBS.: O método fornece também uma expressão para caso de estacionamento sistemático em fila dupla, que não nos parece útil aqui.

c — Efeito da população (C1)

É dado pela tabela abaixo, ou em termos de fator de correção do fluxo de saturação bruto  $S'$

População	C1
1.000.000 ou mais	1,10
500.000 a 1.000.000	1,05
250.000 a 500.000	1,00
100.000 a 250.000	0,95
menos de 100.000	0,90

d — Efeito de localização (C2)

É dado pela tabela abaixo, em termos de coeficiente de correção do fluxo de saturação bruto  $S'$

Condição	C2
Boa: poucos pedestres, pouco ou nenhum estacionamento; boa visibilidade, velocidade alta	1,1
Média: mistura de boas e más condições	1,0
Ruim: muitos pedestres, estacionamento desordenado; visibilidade ruim e velocidade prejudicada	0,9

OBS.: São elementos importantes na avaliação: visibilidade, pedestres, estacionamento, alinhamento, velocidade média etc.

e — Efeito de declividade (C3)

Os coeficientes para correção do fluxo de saturação bruto devido à declividade são dados pelas equações:

$$\text{subida : } C_3 = 1 - 0,03 (\Sigma - 1)$$

$$\text{descida: } C_3 = 1 - 0,03 (\Sigma + 1)$$

E é a declividade (%), válida entre + 10% e - 10%, correspondente a  $0,73 \leq C_3 \leq 1,12$

As declividades devem apresentar certa continuidade ao longo da interseção.

f — Efeito de veículos comerciais

Cada veículo "pesado" (lento) é equivalente a dois veículos de passageiros.

Cada veículo de duas rodas é equivalente a 0,3 de um veículo de passageiros.

OBS.: a unidade básica é: "veículo de passageiro" (veículo "leve"). (VL).

Cada veículo "pesado" ou de duas rodas é transformado num número equivalente de veículos de passageiros (leves), através destes coeficientes de correção.

g — Efeito de conversões

a — Conversão à direita

depende do volume de pedestres na transversal, do raio de curvatura do movimento, da largura da via e da distância entre o foco semafórico e o alinhamento da transversal.

OBS.: O foco semafórico é colocado, na França, antes da interseção, e a distância comentada é a que vai do foco à interseção. Nos lugares em que o foco é colocado após a interseção, sugerimos que a distância  $D_f$  seja tomada como sendo a distância da linha de retenção à interseção (normalmente, em São Paulo, igual a 6m quando há faixa de pedestres e 1m quando não há).

Os coeficientes de correção são encontrados na tabela dada adiante (Tabela 1).

b — Conversão à esquerda

Depende somente da largura da via (para efeito de veículo equivalente, pois a capacidade da conversão precisa ser checada, sendo tratada da mesma maneira como no método de Webster (ver item 4, "tratamento de conversão à esquerda").

No caso da conversão ser feita sem tráfego oposto, os coeficientes são os mesmos da conversão à direita.

A tabela abaixo fornece os coeficientes de equivalência. Estes coeficientes serão multiplicados pela demanda real (inclusive as correções devido aos veículos que não sejam os de "passageiros"). Assim sendo, cada veículo que vira transforma-se num número equivalente de veículos que vão em frente, como numa espécie de "rebatimento" dos lados para a frente.

TABELA 1: COEFICIENTES DE CONVERSÃO À ESQUERDA E DIREITA (CORREÇÃO QUANTO A VEÍCULOS PESADOS E DE DUAS RODAS INCLUIDA COMO COMO FATOR CONSTANTE)

Tráfego direto			
Veículos leves	P ≤ 250	a < 12	
		a ≥ 12	
	Conversão à Direita	P > 250	L ≤ 3,5
			3,5 < L ≤ 9
		Df < 25	L > 9
			Df > 25
	Conversão à Esquerda	L ≤ 3,5	
		3,5 < L ≤ 9	
	Esquerda	L > 9	a < 12
			a ≥ 12
VEÍCULOS PESADOS: Mesmos coeficientes acima, multiplicados por 2		1,0	
VEÍCULOS DE DUAS RODAS: Qualquer que seja sua direção:			
P = número de pedestres por hora na aproximação na qual o veículo que vira vai entrar (ou seja, na transversal)		1,1	
L = largura da aproximação (real)		1,0	
Df = distância da linha de retenção à interseção, na transversal		1,5	
a = raio de giração (curvatura) do movimento de conversão.		1,3	
		1,2	
		1,2	
		1,1	
		1,8	
		1,7	
		1,6	
		0,3	

P = número de pedestres por hora na aproximação na qual o veículo que vira vai entrar (ou seja, na transversal)

L = largura da aproximação (real)

Df = distância da linha de retenção à interseção, na transversal

a = raio de giração (curvatura) do movimento de conversão.

### 3.4.3 Procedimento geral

#### a — Correção da demanda

A demanda real, medida na rua, é corrigida com relação à presença de veículos pesados e de duas rodas, juntamente com a correção devido aos movimentos de conversão (coeficientes tirados da Tabela 1).

Sendo:

Q : demanda equivalente final, em veículos de passageiros diretos/hora

VLD : volume leve direto por hora

VLe : volume leve que vira à esquerda, por hora

VLd : volume leve que vira à direita, por hora

VPD : volume pesado direto, por hora

VPe : volume pesado que vira à esquerda, por hora

VPd : volume pesado que vira à direita, por hora

V2r : volume total de duas rodas (bicicletas etc.)

Ce : coeficiente de correção para conversão à esquerda

Cd : coeficiente de correção para conversão à direita

Temos que:

$$Q = (VLD + 2VPD) + \\ (VLe + 2VPe) Ce + \\ (VLd + 2VPd) Cd + \\ (V2r) 0,3$$

Notar que os veículos pesados já aparecem multiplicados por 2, enquanto os veículos de duas rodas aparecem multiplicados por 0,3, ambos coeficientes constantes (invariáveis — ver Tabela 1).

A demanda equivalente final (Q) é expressa em termos de veículos leves diretos por hora de tempo verde — vld/htv.

Ocorre uma espécie de "rebatimento" através do qual os veículos que fazem a conversão são transformados em veículos que vão em frente, juntamente com a transformação dos veículos pesados ou de duas rodas em veículos de passageiros (leves).

Desta forma, é determinada a demanda equivalente final de cada aproximação (ao final do processo, é necessário checar a capacidade de conversão à esquerda — ver item 4, "tratamento de conversão à esquerda").

b — Correção do fluxo de saturação

O fluxo de saturação "bruto" (básico)  $S'$  é corrigido através dos coeficientes de população (C1), localização (C2) e declividade (C3), obtendo-se o fluxo de saturação final  $S$ , em veículos de passageiros diretos por hora de tempo verde. A equação que demonstra o procedimento é:

$$S = S' \times C1 \times C2 \times C3$$

c — Com demandas equivalentes finais e os fluxos de saturação corrigidos, calculam-se as taxas de ocupação ( $y_i$ ) de cada aproximação, adotando-se a mais elevada de cada fase.

d — Com o tempo morto total da interseção (T) e o somatório das taxas de ocupação críticas escolhidas no passo anterior, determina-se o comprimento do ciclo ótimo ( $C_o$ ).

e — Com o ciclo ótimo, o tempo morto total e as taxas críticas de ocupação, determinam-se os tempos "útil" (análogo ao "efetivo" de Webster) ( $V_u$ ).

OBS.: 1 — o tempo morto pode ser calculado pela fórmula abaixo, usando-se dados levantados no local:

onde:  $t$  = tempo morto da fase (segundos)

$v'$  = verde efetivo (verde real + tempo amarelo) (segundos)

$u$  = número médio máximo (saturação) de veículos que utilizam a fase

$S$  = fluxo de saturação, em vld/htv

$$t = V' - \frac{3600 u}{S}$$

2 — se o período entre os verdes (**intergreen**) contiver "vermelho total", o tempo morto não será mais a soma dos amarelos (procedimento recomendado para o método de Webster) e sim, maior; assim sendo, ao determinar os verdes "úteis", estes não serão iguais aos verdes reais que serão impressos na máquina controladora e precisarão ser corrigidos. Isto se faz adicionando ao verde útil o tempo morto e subtraindo o amarelo.

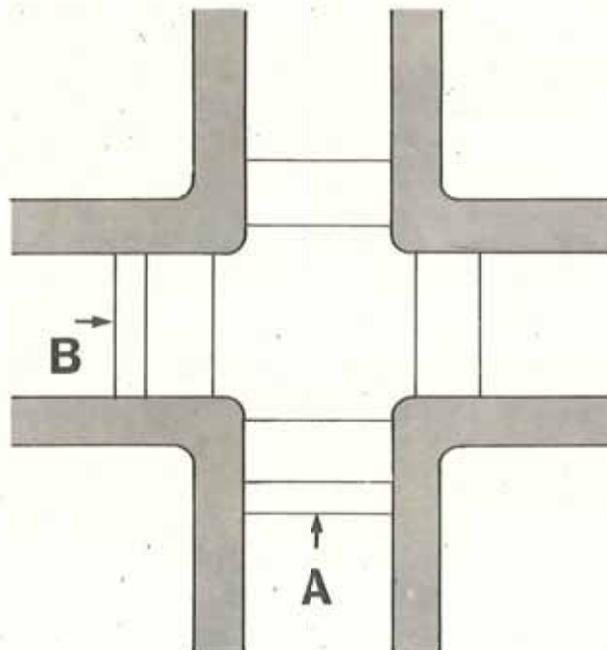
### 3.4.4 Exemplo de aplicação

Dada a interseção entre duas ruas de sentido único de circulação, operando em duas fases, com as aproximações A e B, dimensionar os tempos de verde.

Dados gerais:

- estacionamento proibido em A e permitido em um lado de B;
- população de 200.000;
- localização "ruim";
- pedestres em (1): 250/h;
- pedestres em (2): 150/h;
- raio de curvatura em (1):
- raio de curvatura em (2):

	Aprox.	
	A	B
largura (m)	8	12
demanda (v/h)	1100	1800
% conv. esq.	0	15
% conv. dir.	20	0
% pesados	2	8
% 2 rodas	0	0
declividade	+ 2%	+ 3%



a — Demanda equivalente total (C)

A demanda real, medida no local, precisa ser corrigida devido às conversões e aos veículos comerciais.

- conversão à direita

Tab. 1  
A → Cd = 1,0

- conversão à esquerda (em via de mão única, utiliza-se como se fosse mão única)

Tab. 1  
 $B \longrightarrow Cd = 1,1$

- veículos comerciais: fator de 2,0

Portanto, os volumes direcionais corrigidos ficam:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{volume direto} \quad 0,98 \times 1100 = 1078 \\
 \text{volume à direita} = 0,02 \times 1100 = 22 \\
 \text{volume direto leve (VLD)} = 1078 \times 0,80 = 862 \\
 \text{volume direto pesado (VPD)} = 1078 \times 0,20 = 216 \\
 \text{volume leve à direita (VLd)} = 22 \times 0,80 = 17 \\
 \text{volume pesado à direita (VPd)} = 22 \times 0,20 = 5
 \end{array} \right\} A \\
 \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{volume direto} = 0,85 \times 1800 = 1530 \\
 \text{volume à esquerda} = 0,15 \times 1800 = 270 \\
 \text{volume direto leve (VLD)} = 1530 \times 0,92 = 1408 \\
 \text{volume pesado direto (VPD)} = 1530 \times 0,08 = 122 \\
 \text{volume leve à esquerda (VLe)} = 270 \times 0,92 = 248 \\
 \text{volume pesado à esquerda (VPe)} = 270 \times 0,08 = 22
 \end{array} \right\} B
 \end{array}$$

Portanto,

$$Qa = (862 + 2 \times 216) + (17 + 2 \times 5) 1,0 = 1321 \text{vld/htv}$$

$$QB = (1408 + 2 \times 122) + (248 + 2 \times 22) 1,1 = 1973 \text{vld/htv}$$

b — Fluxos de saturação

O fluxo de saturação "bruto" (S') deve ser corrigido quanto à declividade, população e localização

— largura útil (L')

$$L'_A = L_A \quad \therefore \quad L'_A = 8 \text{ m}$$

$$L'_B = LB - 1,65 + 0,03 (D - 7,5) - \frac{n}{60}$$

Sendo  $D = 0,0$  (veículo estacionado junto à retenção)  
 $n = 10$  (estimado)

Método para Cálculo da Capacidade de Interseções Semaforzadas

Vem que:

$$L'B = 12 - 1,65 + 0,03 (0 - 7,5) - \frac{10}{60} \therefore L'B = 10m$$

Saturação:  $S'A = 535 \times 8 = 4.280\text{vld/htv}$

$$S'B = 535 \times 10 = 5.350\text{vld/htv}$$

— população (C1)      A e B : C1 = 0,95

— localização (C2)      A e B : C2 = 0,90

— declividade (C3)       $\left\{ \begin{array}{l} A \longrightarrow C3 = 0,97 \\ B \longrightarrow C3 = 0,94 \end{array} \right.$

Portanto, a saturação final corrigida é:

$$SA = 4280 \times 0,95 \times 0,90 \times 0,97 = 3549\text{vld/htv}$$

$$SB = 5350 \times 0,95 \times 0,90 \times 0,94 = 4299\text{vld/htv}$$

c — Taxas de ocupação (yi)

$$YA = \frac{1321}{3549} = 0,37$$

$$YB = \frac{1973}{4299} = 0,46$$

$$\Sigma yi = Y = 0,83$$

d — Tempo morto total da interseção

Adotado como igual à soma dos amarelos (6 s)

e — Ciclo ótimo

$$Co = \frac{1,5 \times 6 + 5}{1 - 0,83} = \frac{14}{0,17} = 82s \quad Co = 80s \text{ (adotado)}$$

f — Verde útil total da interseção:  $Vu = 80 - 6 = 74s$

g — Verdes "úteis"

$$VuA = \frac{0,37}{0,83} (74) = 33s$$

$$VuB = \frac{0,46}{0,83} (74) = 41s$$

h — Verdes "reais"

Serão idênticos aos "úteis" pois o tempo morto foi adotado como igual ao amarelo.

OBS.: 1 — se houvesse conversão à esquerda contra tráfego oposto, seriam utilizados os coeficientes da Tabela 1 mas seria necessário checar este movimento de conversão, de maneira análoga à feita pelo método de Webster.

2 — de forma semelhante ao realizado no método de Webster, poder-se-iam calcular alguns dados úteis como a reserva de capacidade ( $rc$ ), a taxa de ocupação máxima ( $Y_{prat}$ ) e o grau de ocupação.

#### 3.4.5 Tabelas para composição do cálculo

Sugerimos a utilização das seguintes tabelas:

- 1 — para cálculo da demanda equivalente final ( $Q$ ); e
- 2 — para cálculo dos fluxos de saturação finais, além do ciclo ótimo e dos verdes úteis.

Salientamos que a "demanda real" da primeira tabela é aquela medida no campo, direcional e classifica (entre "leves" e pesados"). Por outro lado, lembramos que não estão incluídos nas tabelas alguns dados fundamentais como o número de pedestres, o raio de curvatura, a distância  $DF$ , que deverão entrar nos cálculos anteriores à utilização das tabelas. O mesmo se dá com o cálculo útil da largura ( $L'$ ), em função das perdas por estacionamento e manobras.

Nas tabelas dadas a seguir, está incluída a resolução do exemplo numérico dado acima.

#### 3.4.6 Dados úteis para o cálculo

Damos a seguir alguns dados úteis para uma análise mais acurada da interseção em estudo:

- 1 — comprimento de estocagem de veículos  
O comprimento necessário para acomodar os veículos que vão passar pela interseção num tempo verde é dado por:

Método para Cálculo da Capacidade de Interseções Semaforizadas

Aproximação	Demanda Real (v/h)						Demanda Equivalente (v/d)				Demanda Equivalente Total (Q) (v/d)	
	Frente		Direita		Esquerda		Coeficientes	Frente	Direita	Esquerda		
	L	P	L	P	L	P						Cd
A	862	216	17	5	0	0	1,0	—	1.294	27	0	1.321
B	1.408	122	0	0	248	22	—	1,1	1.652	0	321	1.973

Aprox.	L'(m)	S( $\frac{vld}{htv}$ )	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	S corr. Q(v/d)	y <sub>i</sub>	Y	T(s)	Co(1)	Verde útil (s)	Porcentagem com relação ao ciclo adotado
A	8	4.280	0.95	0.90	0.97	3.549	1.321	0.37	6	Co = 82	33	41
B	10	5.350	0.95	0.90	0.94	4.299	1.973	0.83	6	Cad = 80	41	51

$L_s$  = comprimento de estocagem, em metros

$L_s = 2,2 V'$  onde :  $V'$  = verde útil da aproximação (verde real, mais amarelo, menos tempo morto) em segundos

- 2 — também são dados úteis os referentes à reserva de capacidade, taxa de ocupação prática máxima, proporção de veículos retidos, grau de saturação, fila média e atraso médio, todos discutidos no método de Webster.

### 3.4.7 Comentários gerais

Analogamente ao método de Webster, o método do SETRA apresenta um procedimento completo para o cálculo do semáforo, com a vantagem adicional de, na nossa opinião, fazê-lo através de um procedimento mais simples e direto. Utilizando as duas tabelas incluídas neste trabalho, acreditamos que o técnico tem em mãos um método preciso e prático para a análise mais cuidadosa da capacidade, não esquecendo que os valores de capacidade previstos por ele, conforme comentado no método de Webster, têm-se mostrado muito semelhantes aos valores encontrados em São Paulo (ver anexo 6.4).

# 4

---

**caso especial:  
tratamento de conversão à esquerda**

#### **4. Tratamento de conversão à esquerda**

##### **4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL**

Conforme visto nos três últimos métodos, a influência do veículo que faz a conversão à esquerda é corrigida através de coeficientes ou "de equivalentes em veículos diretos". No entanto, isto não é suficiente, sendo necessário analisar a situação deste movimento de conversão, no que diz respeito à liberação ou não de todos os veículos que desejam virar.

Se, dentro das condições predominantes mais importantes para o caso (tempo verde e volume oposto), os veículos que desejam virar conseguem-no no primeiro período de verde apresentado, a aproximação por eles utilizada não sofrerá maiores conseqüências do que as normalmente esperadas. Este é o caso da maioria das interseções simples da zona urbana, conforme comentado anteriormente. Se, por outro lado, ao final do tempo verde, sobrarem na fila alguns veículos que não conseguiram virar, a aproximação, após algum tempo, estará saturada com relação a este movimento de conversão. Torna-se necessário, então, reestudar a interseção, modificando a divisão de fases, o ciclo e/ou os tempos de verde.

Os métodos mais sofisticados discutidos (HCM, Webster e SETRA) apresentam procedimentos que, de maneira geral, seguem o esquema exposto acima: analisam a situação do movimento de conversão e, baseado nos resultados, mantêm ou modificam a divisão de fases e os tempos de ciclo e de verde.

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Método do Highway Capacity Manual (HCM)

Este método mostra o cálculo da capacidade para dois tipos de conversão à esquerda e/ou direita: com faixa e fase especiais e com faixa especial mas sem fase especial. Discutimos a seguir estes dois casos:

#### a — Com faixa e fase especiais

Assume-se que a faixa especial não é utilizada pelo tráfego direto e que os pedestres são controlados de tal maneira a não prejudicar os movimentos de conversão. Da mesma forma, assume-se que a faixa tem comprimento suficiente para acomodar o volume de conversão. Assim, ela será tratada como uma faixa separada. O procedimento é o seguinte:

- achar o volume de serviço máximo para o tráfego direto, pelo processo normal, descontando a largura da faixa de conversão da largura total e considerando 0% de conversões;
- achar o volume de serviço máximo da faixa de conversão, pela tabela abaixo:

Nível de Serviço	VSm (por hora de tempo verde)
A, B e C	800
D	1.000
E	1.200

#### OBSERVAÇÃO:

- 1 — assumindo 5% de caminhões e faixa com largura de 3 m (10 pés)
  - 2 — o volume de serviço máximo de cada faixa adicional de conversão será de 80% dos valores da tabela acima.
- corrigir com relação à presença de comerciais, através da Tabela 4, do procedimento normal para determinação do volume de serviço máximo;

- somar os volumes de serviço obtidos nos passos primeiro e terceiro, obtendo o total para a aproximação.
- como verificação final, chegar o volume de conversão, baseado na distribuição de tráfego, da seguinte maneira:
- determinar o volume horária máximo esperado (direto):

$$Vh \text{ direto} = \frac{VSh \text{ direto}}{\% \text{ vol. direto}}$$

- calcular os volumes possíveis de chegada dos veículos que desejam virar:

$$Vhesq = Vh \text{ direto} \times \% \text{ conv. esquerda}$$

$$Vh \text{ direita} = Vh \text{ direto} \times \% \text{ conv. direita}$$

- compará-los com os volumes de serviço calculados para as conversões (devem ser menores que estes).

**OBSERVAÇÃO:**

- 1 — este procedimento analisa a situação da faixa de conversão; no caso de se desejar determinar o tempo de verde necessário (relação G/C), o procedimento inverso pode ser feito.
- 2 — uma forma semelhante de conduzir a análise foi exposta no livro **Traffic Engineering** (ref. 11). Tendo determinado os itens primeiro e segundo do procedimento anterior, passa-se à análise de qual volume de serviço adotar para a aproximação como um todo, o que é feito da seguinte maneira: a) calculam-se os volumes de serviço horário, através do fator G/C, sendo que no caso do volume de serviço da conversão, entram também fatores de correção quanto à largura da faixa, ao número de faixas e à portagem de caminhões, conforme a fórmula:

$$VSh = L \cdot \frac{G}{C} \cdot \frac{W}{10} [1 + 0,8 (N - 1)] [1 - 0,01 (T - 5)]$$

onde : L = volume de serviço, obtido da tabela anterior

G/C = relação "tempo de verde/ciclo"

W = largura da faixa de conversão (pés)

N = número de faixas de conversão

T = porcentagem de caminhões

Notar que, pela fórmula acima, se o número de faixas for igual a um, a largura for de 10 pés e a porcentagem de caminhões for de 5%, várias parcelas tornam-se sem valor, e a equação reduz-se a  $VSh = L \cdot G/C$ , ou seja, o volume de serviço horário é igual ao volume de serviço máximo (da tabela), multiplicado pelo fator  $G/C$ .

Por outro lado, analisa-se a aproximação como um todo, fazendo o seguinte cálculo:

$$\frac{VSh \text{ direto}}{\% \text{ vol. direto}} \quad e \quad \frac{VSh \text{ esquerda}}{\% \text{ vol. esquerda}}$$

e tomando o maior dos dois como o volume de serviço da aproximação, a ser utilizado no cálculo.

b — Com faixa especial, mas sem fase especial

Neste caso, os veículos terão de virar à esquerda contra o tráfego, oponente, nas "brechas" encontradas. O procedimento é o seguinte:

• conversão à esquerda:

a — achar o volume de serviço máximo para o tráfego direto, pelo processo normal, descontando a largura da faixa de conversão da largura total e considerando 0% de conversões;

b — o volume de serviço da faixa de conversão será, em qualquer nível de serviço, igual à diferença entre 1.200 veículos de passageiros por hora de tempo verde, e o volume total oponente, em veículos por hora de tempo verde, mas nunca inferior a dois veículos por ciclo (considerada o número mínimo que vira durante o amarelo).

c — somar os volumes de serviço dos itens (a) e (b) para obter o volume de serviço da aproximação.

• conversão à direita

a — idem ao anterior.

b — em qualquer nível de serviço, o volume de serviço horário será  $(600 \cdot G/C)$  assumido que a faixa tem comprimento suficiente, que há 5% de veículos comerciais e que a conversão é simultânea ao movimento de pedestres na transversal. Se não há pedestres, usar os valores dados no caso em que há fase especial. Em qualquer caso, o ajuste com relação à presença de veículos comerciais deve ser feita pela Tabela 4, do procedimento normal para determinação do volume de serviço.

## 4.2.2 Método de Webster\*

O estudo do movimento, neste caso, é dividido em quatro tipos de situação:

b1 — sem faixa especial e sem tráfego oposto:

Deve-se utilizar o procedimento geral para o fluxo de saturação, independentemente dos movimentos de conversão.

b2 — com faixa especial mas sem tráfego oposto:

Neste caso, o fluxo de saturação da corrente que faz a conversão depende do raio de curvatura do movimento e é dado por:

$$s = \frac{1.800}{1 + \frac{1,52}{r}} \quad \text{para fila única}$$

$$s = \frac{3.000}{1 + \frac{1,52}{r}} \quad \text{para fila dupla}$$

onde :  $s$  = fluxo de saturação (vp/h)

$r$  = raio de curvatura do movimento (metros)

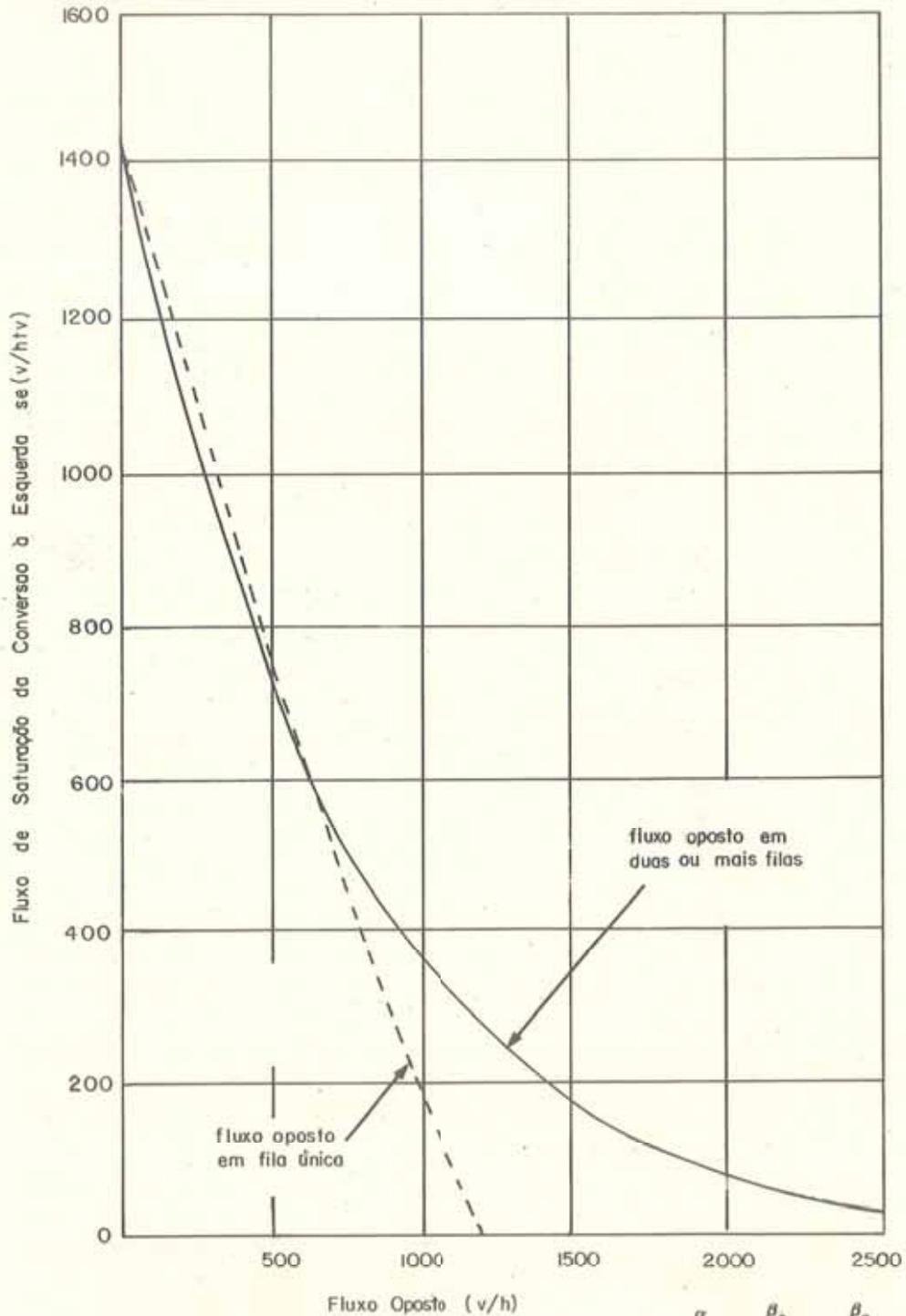
b3 — Sem faixa especial e com tráfego oposto:

Neste caso, o efeito causado pelo veículo é o mais prejudicial de todos. Em primeiro lugar, ele causa atraso aos veículos da mesma fila que desejam ir em frente; em segundo lugar, inibe o uso desta faixa pelos veículos que não desejam virar e, por último, os veículos que desejam virar e permanecem na interseção no final do verde, retardam o início da fase da transversal.

Com respeito aos dois primeiros efeitos, já foi comentado que cada veículo que vira pode ser considerado como equivalente a 1,75 de um veículo que vai em frente, sendo esta correção normalmente satisfatória para a maioria das interseções simples. Para o último efeito, todavia, é necessário verificar se sobram veículos no final do verde e quantos sobram. Para isso, estudou-se o comportamento do veículo que vira com relação às brechas encontradas no tráfego oposto.

Sendo o **gap** a diferença de passagem entre dois veículos sucessivos (medida da traseira do primeiro à frente do segundo), determinou-se, pelas pesquisas, que um **gap** ( $\alpha$ ) de 5 a 6 s. é o mais comum. O fluxo de saturação, nas condições discutidas, pode ser determinado pelo gráfico abaixo:

\* Referência bibliográfica n.º 3



$\alpha$  é o **gap** mínimo necessário no fluxo oposto p/ 1 veíc. virando

$\beta_e$  é o **headway** mínimo entre veíc. sucessivos que viram ( $s = 1/\beta_e$ )

$\beta_o$  é o **headway** mínimo entre veíc. sucessivos na corrente oposta

fluxo oposto em fila única

fluxo oposto em 2 filas

(segundos)

Este gráfico foi construído para tráfego oposto em uma fila (assumindo  $\alpha$  como de 5s) e em duas filas (assumindo  $\alpha$  de 6s). Ele fornece o fluxo de saturação da conversão à esquerda (Se). Para que o cálculo se torne prático, é necessário transformar este valor no número de veículos que conseguirá virar por ciclo, aproveitando os espaços na corrente oposta (Ne). A expressão que fornece este número é

$$Ne = Se \left( \frac{V's - qc}{s - q} \right) \text{ onde:}$$

Ne = n.º máximo de veículos virando por ciclo

Se = fluxo de saturação da conversão (v/s)

q = demanda do fluxo oposto (v/h)

s = saturação do fluxo oposto (v/htv)

v' = verde efetivo do fluxo oposto (s)

c = ciclo (s)

b4 — Com faixa exclusiva e fluxo oposto

Neste caso, os veículos que desejam seguir em frente não são retardados e o procedimento deve ser o mesmo do item (b3).

PROCEDIMENTO GERAL

- com a demanda horária do movimento de conversão, determinar o número médio de veículos esperado por ciclo (N) (demanda dividida pelo número de ciclos na hora);
- com a mesma demanda horária, determinar o fluxo de saturação da conversão (Se), através do gráfico;
- transformar este valor no número máximo de veículos que pode virar por ciclo (Ne); e
- Se  $N \leq Ne$ , o movimento à esquerda é acomodado pelas condições presentes e não há nada a modificar; se  $N > Ne$ , sobram veículos que não conseguiram virar e é necessário reestudar o problema. Calcula-se então quantos veículos não conseguiram virar ( $Nw = N - Ne$ ). Considerando-se que cada veículo preso no final do verde leva 2,5s. para virar (**headway** médio), precisaremos de 2,5. Nw segundos para escoar os veículos retidos.

Este tempo será dado através do intervalo de limpeza (**intergreen**) ou, quando isto não for possível, através de um "verde retardado", caso em que o total 2,5. Nw será dividido entre o "verde retardado" e o **intergreen** comum.

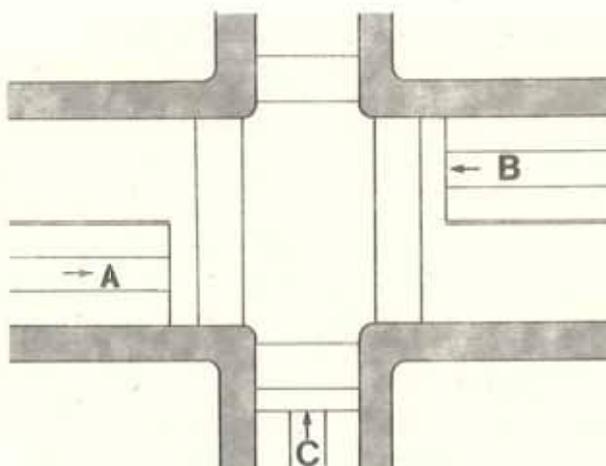
### 4.3 Exemplos de aplicação

#### 4.3.1 Método do HCM

Dada a interseção abaixo desenhada, determinar a demanda da aproximação A que pode ser acomodada no nível de serviço C.

Dados gerais:

- zona central
- FPH de 0,85
- pop de 250.000
- estac. proibido
- conv. esquerda: 13%
- veíc. comerciais: 6%
- sem ônibus locais
- ciclo de 80s.
- verde direto: 47s.
- verde da conv.: 25s.  
(verde retardado)



Solução: a situação pode ser classificada como "com faixa e fase especiais".

a — Determinação do volume de serviço do movimento direto

$l = 6,0$  m, estacionamento proibido,

Fig. 4

nível C  $\longrightarrow$   $VS_b = 1.400$  v/htv

$f_{pop}$	$\longrightarrow$	1,00	}	$VS = 1.400 \times 1,00 \times 1,00 = 1.400$ v/htv
$f_{área}$	$\longrightarrow$	1,00		
$f_{cd}$	$\longrightarrow$	1,10	}	$VS_m = 1.400 \times 1,10 \times 1,05 \times 1,500 = 1.540$ v/htv
		10%		
$f_{ce}$	$\longrightarrow$	1,05		
		0%		
$f_{cm}$	$\longrightarrow$	0,99	}	Volume serviço horário direto
		6%		
$f_{on}$	$\longrightarrow$	1,00		
		0%		$VS_h = 1.540 \times \frac{47}{80} = 905$ v/h

b — Determinação do volume de serviço da conversão à esquerda

nível C, tabela:  $V_{Sb} = 800 \text{ v/htv}$

largura da faixa 3 m: fator 1,00

$$V_{Sm} = 800 \times 0,99$$

comerciais 6%: fator 0,99 (tab.)

$$V_{Sm} = 792 \text{ v/htv}$$

Volume serviço horário à esquerda:

$$V_{Sh} = 792 \times \frac{25}{80} = 247 \text{ v/h}$$

c — Verificação da demanda máxima esperada para a conversão

% de conversão à esquerda 13%

portanto, % de movimento direto: 87%

O volume horário direto máximo será (demanda possível nas condições)

$$V_{h \text{ dir. máx.}} = \frac{V_{Sh \text{ direto}}}{0,87} = \frac{905}{0,87} = 1040 \text{ v/h}$$

O volume à esquerda será (demanda possível)

$$V_{\text{esq.}} = V_{h \text{ dir. máx.}} \times 0,23 = 1040 \times 0,23 = 239 < 247$$

Portanto, a demanda horária que pode ser acomodada no nível C é mesmo de 1040 v/h.

#### 4.3.2 Método de Webster

Analisar a situação do movimento de conversão à esquerda de uma interseção, sabendo que:

- a demanda deste movimento é de 500v/h
- o fluxo oposto é de 600v/h, em duas filas
- o ciclo é de 60s e o verde efetivo do fluxo oposto 38s
- o fluxo de saturação da aproximação oposta é de 5000v/htv

Solução

a — n.º médio de veículos por ciclo (N)

$$N = \frac{500}{60} = 8,3 \text{ v/ciclo}$$

b — fluxo de saturação da conversão à esquerda ( $S_e$ ), pelo gráfico

$$q_e = 500 \text{ v/h}$$

$$q = 600 \text{ v/h (2 filas)}$$

$$\text{Gráfico} \longrightarrow S_e = 630 \text{ v/htv}$$

c — n.º máximo de veículos virando por ciclo ( $N_e$ )

$$N_e = \frac{630}{3600} \left( \frac{38(5000) - 600(60)}{5000 - 600} \right)$$

$$N_e = 6.1 \text{ v/ciclo}$$

d — comparando (a) e (d) (determinação de  $N_w$ )

$N > N_e$ ; portanto, sobram, em média, 2 veículos por ciclo (8.3-6.1)

e — Acomodação do volume excessivo

Estes dois veículos podem ser acomodados incluindo um "vermelho total" no qual eles possam virar. Utilizando um **headway** médio de 2,5s, o comprimento do "vermelho total" deverá ser de 5,0s.

OBS.: poderia ser tentado também um "verde retardado" para acomodar os veículos que sobraram, no caso de  $N_w$  ser maior.

**5**

---

**comentários finais**

Conforme visto, a engenharia de tráfego já dispõe de métodos aperfeiçoados para a análise ou cálculo da capacidade das interseções semaforizadas.

Dentre os métodos discutidos, parece-nos que todos têm utilização no Brasil, sendo necessário apenas saber tirar deles as vantagens que oferecem, de acordo com a situação apresentada.

Assim, parece-nos que o método "gráfico", bastante prático, pode ser utilizado nas interseções em que não estejam presentes, em alta porcentagem, os elementos que alteram significativamente o valor da capacidade, ou seja, declividades, veículos comerciais, movimentos de conversão à esquerda contra tráfego oposto etc. Aplicado nestas interseções, principalmente nas cidades com até 500.000 habitantes, este método dará resultados satisfatórios. É evidente que, havendo possibilidade de cálculos mais precisos, estes deverão ser efetuados; a simplicidade do método gráfico, no entanto, permite ao técnico dimensionar rapidamente o semáforo, inclusive no próprio campo, podendo esta vantagem ser aproveitada sempre que a situação o permitir.

No entanto, nas situações em que estiverem presentes os fatores mencionados, nas interseções excessivamente carregadas (relação

demanda/capacidade muito alta) e naquelas pertencentes a sistemas coordenados de semáforos, é aconselhável o cálculo mais preciso. A capacidade das aproximações, em São Paulo, tem-se mostrado semelhante às previstas pelos métodos europeus (Webster e SETRA) e superior à prevista pelo método do HCM, dada a semelhança das cidades européias com relação às nossas cidades, além da semelhança nas dimensões dos veículos. Assim sendo, acreditamos que os métodos europeus, mais especificamente o do SETRA (dada a maior facilidade de cálculo), são os mais indicados para estes cálculos mais precisos requeridos. Incluímos, inclusive, duas tabelas de cálculo para tornar o dimensionamento pelo método do SETRA mais rápido.

E para uma análise mais precisa ainda, quando de situações complexas, pode-se calcular e comparar o atraso médio dos veículos, os graus de saturação e as reservas de capacidade (além de outros dados), todos procedimentos discutidos e analisados pelo método de Webster.

O método do HCM, por seu lado, em que pese o problema de não permitir a determinação do comprimento do ciclo e de fornecer valores de capacidade irreais para nossas condições, é o método mais completo para a análise de uma situação dada, pois utiliza o conceito de nível de serviço, permitindo a averiguação da "qualidade" da operação no local. Assim, ele pode ser utilizado para diagnóstico de situações dadas, com objetivos comparativos.

Gostaríamos de salientar que, qualquer método brasileiro de análise de capacidade que venha a ser feito deveria levar em consideração todos os fatores que afetam a capacidade, comentados ao longo deste trabalho, sendo que muitos dos valores numéricos dados podem ser aproveitados, sem que seja necessário realizar pesquisas exaustivas novamente.

Os métodos europeus aqui mostrados parecem-nos excelentes para formar o corpo de um método essencialmente brasileiro, devendo-se unicamente adaptar certos coeficientes às condições de cada localidade, além de pesquisar outros representativos de nossas condições reais, como no caso já comentado da ocorrência de valetas de drenagem nas interseções.

6

---

anexos

### 6.1 Semáforos — Definições e conceitos gerais \*

**SEMÁFORO:** dispositivo de controle de tráfego que, através de indicações luminosas variáveis no tempo, alterna o direito de passagem pela interseção das várias correntes que a desejam.

**FASE:** tempo durante o qual uma corrente (ou várias) recebe o direito de passagem; corresponde aos vários "movimentos" observados, conflitantes ou não.

O número de fases de uma interseção depende, basicamente, do número de aproximações, dos volumes de conversão e dos conflitos entre os movimentos. De maneira geral, deve-se adotar o menor número possível de fases, para evitar ciclos e atrasos longos.

---

\* Para critérios de utilização e colocação de semáforos, ver "CET - Manual de Sinalização Urbana, normas de projeto, vol. 6 "Semáforos"; para histogramas de fluxo e tabelas de programação de controladores, ver "CET - Boletim Técnico N.º 6, Engenharia de Campo".

Deve-se procurar compatibilizar a maior segurança com o menor atraso geral. Na maioria dos cruzamentos, o número de fases é igual a 2.

Quando há uma conversão à esquerda muito elevada, às vezes é necessário acomodá-la numa terceira fase, com tempo verde "roubado" do movimento direto que com ela conflita. Se permitirmos a conversão antes que comece o movimento direto conflitante, será chamado de "verde avançado"; caso contrário, de "verde retardado".

Da mesma forma, cruzamentos com muitas aproximações poderão precisar de muitas fases. Na prática, o número de fases não costuma ser maior do que três.

Em termos de duração, o tempo verde de uma fase não deve ser inferior a 15 segundos (a duração mínima é geralmente fixada em função do tempo mínimo de travessia segura dos pedestres que andam paralelamente à aproximação considerada).

**CICLO:** o tempo total, em segundos, para a completa seqüência das fases. Na prática, varia geralmente de 40 a 120 segundos e só muito raramente atinge valores fora desta faixa. Uma interseção, operando em duas fases, tem geralmente o ciclo compreendido entre 40 e 80 segundos, enquanto que uma outra, operando em 3 fases, tem ciclo na faixa de 60 a 120 segundos. Para a determinação do comprimento do ciclo, muitos procedimentos são conhecidos, uns mais aperfeiçoados que outros. De maneira geral, ele é determinado com a intenção de produzir o menor atraso geral possível na interseção.

A rigor, qualquer ciclo imposto a um cruzamento será capaz de escoar o volume de tráfego; a diferença entre um ciclo e o outro é justamente o atraso geral que causarão aos veículos.

**INTERVALO:** um dos vários períodos de tempo dentro do ciclo, durante o qual as indicações luminosas do cruzamento como um todo não mudam;

**DEFASAGEM:** a diferença, em segundos ou porcentagem de ciclo, entre o início de uma fase verde qualquer e o início de outra tomada como base (e considerada de defasagem ZERO).

O ciclo, o número de fases, os intervalos e as defasagens são sempre decisões do projetista, embora à vezes ele não tenha liberdade total para tomar estas decisões, geralmente em função das características físicas do cruzamento ou da dependência deste em relação a cruzamentos próximos.

Não é objetivo deste trabalho discutir a divisão de fases na interseção nem sua relação com outras próximas; desta forma, o número de fases é tomado como conhecido (e conseqüentemente os intervalos) e o problema de defasagem não entra em consideração. Assim sendo, somente o ciclo é discutido em todos os métodos, embora deva-se ressaltar que, na análise de capacidade, a inexistência de uma solução satisfatória pode levar a um reestudo da divisão de fases e, conseqüentemente, dos intervalos.

#### **OBSERVAÇÃO GERAL:**

Na análise da capacidade, não se faz referência à "via" mas sim, à "aproximação"; dessa forma, a "largura" da via transforma-se em "largura da aproximação", uma interseção de duas vias de sentido duplo de circulação é chamada uma "interseção de quatro aproximações" e assim por diante. Notar que, neste último caso, aparece uma ligação entre o termo "aproximação" e o "movimento de aproximação", que é propriamente o motivo do uso desta palavra (uma interseção de duas vias de sentido único seria uma interseção de duas aproximações e não de quatro). Por outro lado, dependendo do método, a largura da aproximação refere-se ou à distância de guia a guia ou à distância da guia à linha divisória de fluxos opostos.

O esquema ilustra as definições acima descritas.

ESQUEMA DO CRUZAMENTO

DIAGRAMA DE FASES E DE TEMPOS

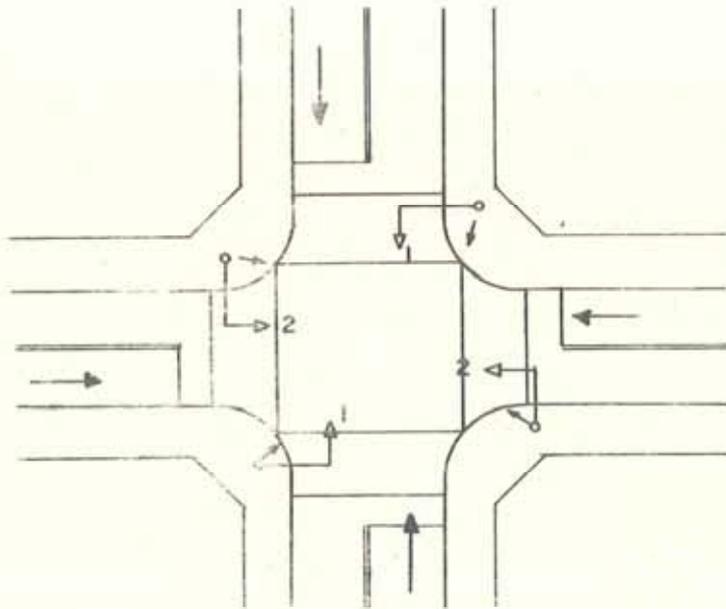
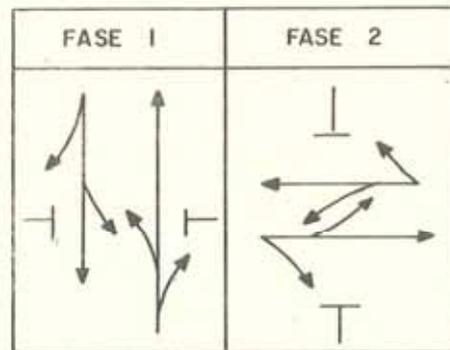


DIAGRAMA DE FASES



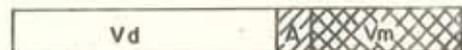
Formas de representação do ciclo:

a —  $C = Tv1 + Tv2 + Ta1 + Ta2$

b —  $C = Tvm1 + Tvm2$

DIAGRAMA DE TEMPOS

FASE 1



FASE 2



INTERVALOS

DIMENSÃO (SEG.)

DIMENSÃO (%)

	1	2	3	4
DIMENSÃO (SEG.)	26	4	15	5
DIMENSÃO (%)	52	8	30	10

UM CICLO  
50 SEGUNDOS  
100 %

Observando-se o diagrama de fases, pode-se constatar que o cruzamento está operando em duas fases. Através do diagrama de tempos, podemos observar que há 4 intervalos e que a fase 1 tem 26s. de verde, 4 de amarelo e 20 de vermelho, enquanto que a fase 2 tem 15s. de verde, 5 de amarelo e 30 de vermelho. O ciclo é de 50s., podendo suas divisões (intervalos) serem expressas também em porcentagem do ciclo, em função do tipo da máquina controladora. Por último, não há razão em falar de defasagem, pois trata-se de uma interseção isolada.

### **6.2 Tempo de limpeza e "vermelho total"**

O tempo de limpeza, geralmente dado pela luz amarela acesa isoladamente, é fundamental para a segurança da operação da interseção. Seu dimensionamento errado tem sido freqüentemente a causa de acidentes gravíssimos.

Ele depende, principalmente, da distância a vencer na travessia do cruzamento, da velocidade de aproximação do veículo e do tempo de percepção — reação do motorista. De maneira geral, a prática demonstrou que o tempo de 3s. é satisfatório para a maioria dos cruzamentos. Deve-se sempre, no entanto, verificar os fatores citados, a fim de determinar o tempo adequado para uma operação segura. Em alguns casos extremos (velocidade alta e distância a vencer grande), o amarelo será maior do que 5 ou até 6s. Nestes casos, evitam-se colocar estes tempos longos, devido ao desrespeito por parte dos motoristas. Costumam-se colocar 3s de amarelo, mais 2 ou 3s. de vermelho, coincidentes com o vermelho da outra fase. A isto chama-se "vermelho total" (muito comum na Europa, sendo discutido nos métodos de Webster e SETRA).

A tabela abaixo fornece os tempos de amarelo. Salientamos que, para velocidades entre 40 e 50km/h e distâncias entre 10 e 15m (grande maioria das interseções urbanas), a prática demonstrou que o tempo amarelo de 3s. é suficiente, a não ser que condições excepcionais ocorram, como por exemplo a presença de veículos muito lentos etc.

TABELA TEMPO DE AMARELO (SEGUNDOS)

Largura inters. (m)	Velocidade de aproximação (km/h)						
	20	30	40	50	60	70	80
5	4	4	4	4	4	5	5
10	5	4	4	4	5	5	5
15	6	5	5	5	5	5	6
20	6	5	5	5	5	6	6
25	7	6	6	5	6	6	6
30	8	7	6	6	6	6	6

Fonte: Novaes, Antonio Galvão — "Pesquisa Operacional e Transportes"

Hipóteses de cálculo: a) tempo de reação de 1s.  
b) comprimento do veículo: 5m  
c) desaceleração de 5m/s<sup>2</sup>

### 6.3 Equação de descarga da fila

Vários estudos foram realizados a respeito do comportamento dos veículos no início de um período verde.

Dentre eles, os mais importantes foram feitos por Greenshields e Capelle, tendo sido determinadas equações representativas deste comportamento.

#### GREENSHIELDS

Foram encontrados os seguintes dados:

- 1.º veículo: 3,8s para entrar na interseção, depois que aparece a luz verde
- 2.º veículo: 3,1s depois do primeiro veículo
- 3.º veículo: 2,7s depois do segundo veículo
- 4.º veículo: 2,4s depois do terceiro veículo
- 5.º veículo: 2,2s depois do quarto veículo
- 6.º veículo: 2,1s depois do quinto veículo

A partir do sétimo veículo, o *headway* de 2,1s se mantém constante enquanto houver demanda.

Estes dados nos levam a uma demora de 14,4s. para os primeiros cinco veículos e de 2,1s. para cada veículo sucessivo, o que nos permite montar a equação de descarga de fila:

$TV = 3,7 + 2,1 n$  onde: TV = tempo verde necessário para escoar a fila de n veículos, em segundos;

n = número de veículos na fila

**OBSERVAÇÃO:**

- 1 — válida para  $n \geq 5$  e para aproximações planas
- 2 — os veículos comerciais demoram mais a entrar na interseção e foi achado por Greenshields que seus **headways** são 50% superiores aos dos veículos de passageiros, em qualquer posição na fila.

Esta equação é um dos elementos básicos do método de cálculo de tempos verdes chamado "das probabilidades de desempenho", discutido neste trabalho.

**CAPELLE e PINNELL**

Num estudo realizado mais tarde do que o de Greenshields (em 1960), Capelle e Pinnell chegaram a resultados diferentes, com tempos de demora inferiores aos encontrados por Greenshields.

Verificou-se neste estudo que os dois primeiros veículos levavam 5,8s. para entrar na interseção, enquanto que os outros se seguiam a um **headway** de 2,1s. Fica implícito, então, um atraso inicial e 1,6s. Estes dados nos levariam à equação:

$$TV = 1,6 + 2,1 n \text{ onde: } TV = \text{tempo verde necessário para escoar a fila de } n \text{ veículos, (segundos)}$$
$$n = \text{número de veículos na fila}$$

**OBSERVAÇÃO:**

Válida para  $n \geq 2$  e para aproximações planas.

Observando as equações expostas acima, nota-se que o cálculo do tempo verde produzirá uma diferença de 2,1s. entre as duas.

É importante salientar que as equações foram determinadas com base em situações diferentes das normalmente encontradas no Brasil, principalmente quanto ao tipo de veículo pesquisado.

Além disso, referem-se a condições sem nenhuma anormalidade como declives, valetas etc. Assim sendo, em que pese a utilidade destas equações, é necessário procurar determinar, para cada região ou cidade, a sua equação (ou equações), característica do local.

**6.4 Estudo de capacidade na cidade de São Paulo**

Foi realizado em São Paulo, pela equipe técnica do DSV\*, um estudo de capacidade de fluxo interrompido. Do levantamento realizado em

\* Trabalho coordenado pelo eng.º Sergio Ejzemberg, de circulação interna do DSV

48 interseções, resultou a seguinte tabela, que é utilizada com o devido cuidado com relação às condições locais e sempre que não é possível realizar levantamentos de capacidade através de histogramas (notar como os valores básicos se assemelham aos dos métodos europeus discutidos):

Largura útil (l)	Capacidade (Veículos/Hora)
até 5,50m	$C = 1.079 + 222xl$
5,50m até 6,50m	$C = 700xl - 1.550$
6,50m até 8,00m	$C = 1.700 + 200xl$
8,00m até 10,00m	$C = 1.000xl - 4.700$
Superior a 10,00m	$C = 1.550 + 375xl$

## OBSERVAÇÕES:

- a — a dispersão é aproximadamente de  $\pm 20\%$ ;
- b — estão implícitas porcentagens máximas de conversão à direita e esquerda de 20 e 10% respectivamente;
- c — todas as interseções pesquisadas eram planas, situadas em vias arteriais, em corredores de tráfego e em vias comerciais;
- d — a largura total deve ser medida de guia a guia no caso de mão única e de guia à linha divisória no caso de mão dupla; deve-se descontar 2,5m para cada lado em que o estacionamento for permitido, determinando a largura útil.

### 6.5 Referências bibliográficas

- 1 — Ministry of Transport, **Traffic Signals**, Webster F.V. e B.M. Cobbe, Road Research Technical paper n.º 56, Londres, Inglaterra, 1966, HMSO
- 2 — Department of Scientific and Industrial Research, Webster F.V., **Traffic Signal Settings**, Road Research Technical paper n.º 39, Londres, Inglaterra, 1953, HMSO
- 3 — Ministry of Transport, **Effect of Right-Turning Vehicles at Traffic Signals**, Webster F.V., Road Research Laboratory, Report LR 86, Inglaterra, 1967
- 4 — Ministère de l'Équipement e du Logement, Service D'Études Techniques de Routes et Autoroutes, **Carrefours a Feux**, França, 1973
- 5 — Highway Research Board, **Highway Capacity Manual**, Special report 87, EUA, 1965
- 6 — Australian Road Research Board, **Australian Road Capacity Guide**, boletim n.º 4, Austrália, 1958, edição de 1974
- 7 — Wohl, Martin e Martin, V. Brian, **Traffic System Analysis for Engineers and Planners**, McGraw-Hill, EUA, 1967
- 8 — Novaes, A. Galvão **Pesquisa Operacional e Transportes — Modelos Probabilísticos**, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975
- 9 — Northwestern University, Traffic Institute, **Traffic Signal Practice**; stock number 3.517, Estados Unidos, 1977
- 10 — Institute of Transportation Engineers, **Transportation and Traffic Engineering Handbook**, Editora Prentice Hall, EUA, 1976
- 11 — Pignataro, Louis J., **Traffic Engineering**, Editora Prentice Hall, EUA, 1973
- 12 — Companhia de Engenharia de Tráfego, **Boletim Técnico N.º 5**, "Noções Básicas de Engenharia de Tráfego", São Paulo, 1977

#### **Ficha Técnica**

Eng. JOSE SEISHUN HANASHIRO

Assessor de Projetos Especiais

Eng. GILBERTO MONTEIRO LEHFELD

Assistência da Assessoria de Projetos Especiais

Revisão Técnica

PAULO ERNESTO CONDINI

Editor

LUIZ MANSOUR MAKLOUF F.

Programação Visual/Produção

ADALBERTO RIBEIRO DO NASCIMENTO

Fotos

ZILDA ABUJAMRA DAEIR

Copy-Desk/Revisão

LINOTIPADORA SILVESS LTDA.

Composição

FOTOLITOS GRAFA

EDITORA AMTYX LTDA.

Impressão

JOSÉ DOMINGOS BRITO

Distribuição

Série BOLETIM TÉCNICO DA CET

Redução do Consumo de Combustível: Ações na Circulação e no Transporte	— publicado
Redução dos Acidentes de Tráfego: Proposta de Medidas para um Plano de Ação	— publicado
São Paulo e a Racionalização do Uso do Combustível	— publicado
Pesquisa Aerofotográfica da Circulação Urbana: Resultados de um Projeto Piloto	— publicado
Noções Básicas de Engenharia de Tráfego	— publicado
Engenharia de Campo	— publicado
Projeto SEMCO em Área de São Paulo Sistema de Controle de Tráfego	— publicado
Ação Centro	— publicado
Comenor: Controle de Ônibus Ordenados	— publicado
Sistema de Controle de Tráfego Aplicação do Programa TRANSYT	— publicado
PGT Programa de Orientação de Tráfego	— publicado
Controlador Ativado	— publicado
Sinalização Vertical Montagem e Implantação	— publicado
Fiscalização da Sinalização Horizontal	— publicado
Projetos de Intersseções em Nível — Canalizações	— publicado
Métodos para Cálculo da Capacidade de Intersseções Semalorizadas	— publicado
Sinalização de Tráfego Proposta de Planejamento e Dimensionamento de uma Indústria de Placas	— em preparo