

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO
boletim técnico



Noções Básicas de
Engenharia de Tráfego

5

Noções Básicas de Engenharia
de Tráfego

Ficha Catalográfica

Edson Paulo Filizzola — 1944

Noções básicas de engenharia de tráfego. Equipe técnica coordenada por Edson Paulo Filizzola. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego. 1977.

128 p. il. (Série: Boletim Técnico da CET n.º 5)

1. Engenharia de Tráfego. 2. Fluxo — Características. 3. Volumes de Serviço. 4. Capacidade. 5. Rodovias. 6. Cruzamentos. 7. Entrelaçamentos. 8. Rampas. I. Título. II. Série.

Boletim Técnico da CET n.º 5

Noções Básicas de Engenharia de Tráfego

Eng.º Edson Paulo Filizzola
Eng.º Francisco Moreno Neto
Eng.º João Carlos Scatena
Eng.º Max Ernani Borges de Paula
Eng.º Michel Kayal
Eng.º Paulo Sérgio Custódio

Companhia de Engenharia de Tráfego



Este trabalho foi publicado pela
Companhia de Engenharia de Tráfego - CET
com a autorização expressa dos autores.

Publicação da
Companhia de Engenharia de Tráfego - CET
Av. Nações Unidas n.º 7163
05477 - São Paulo, SP

A publicação de um trabalho contendo noções básicas de Engenharia de Tráfego, pela Série Boletim Técnico da CET, representa a concretização de um dos seus objetivos, qual seja, dar publicidade a textos técnicos considerados relevantes para a consolidação da Engenharia de Tráfego em nosso País.

Elaborados por técnicos pertencentes ao quadro funcional da CET, Metrô e EMURB, o presente trabalho é a bibliografia básica da cadeira de Planejamento dos Transportes do curso de Engenharia de Tráfego da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

São Paulo, setembro de 1977.

ÍNDICE

1. CARACTERÍSTICA DO TRÁFEGO	9
1.1. Volume de tráfego	11
1.1.1. Composição	12
1.1.2. Variações de volume	12
1.1.3. Variação anual dos volumes horários	17
1.2. Velocidade	20
1.2.1. Conceitos de velocidades e suas aplicações ..	20
1.2.2. Velocidade como medida das condições de operação	24
1.2.3. Variação de velocidade	24
1.2.4. Influências na velocidade	30
1.3. Densidade	31
1.3.1. Considerações iniciais	31
1.3.2. Relações matemáticas	31
1.3.3. Espaçamento como medida da capacidade	32
1.3.4. Distribuição dos intervalos e fluxo aleatório ..	33
1.3.5. Efeitos de interrupções do tráfego nos intervalos	34
1.4. Relação entre velocidade, volume e densidade	35
1.4.1. Relação volume x velocidade	35
1.4.2. Relação entre velocidade x densidade	36
1.4.3. Relação entre densidade x volume	36

2. CAPACIDADE E NÍVEIS DE SERVIÇO PARA FLUXO ININTERRUPTO	39
2.1. Introdução	41
2.2. Capacidade	42
2.3. Níveis de serviço	43
2.4. Fatores que afetam a capacidade e os volumes de serviço	45
2.4.1. Fatores físicos	45
2.4.2. Fatores de tráfego	51
2.4.3. Aplicação dos fatores de ajuste	54
2.4.4. Cálculos de capacidade e volumes de serviço para fluxos ininterruptos	55
3. CÁLCULO DA CAPACIDADE E VOLUMES DE SERVIÇO PARA FLUXO INTERROMPIDO	73
3.1. Cálculo da capacidade e níveis de serviço das intersecções em nível	75
3.1.1. Introdução	75
3.1.2. Cálculo dos volumes básicos	76
3.1.3. Fator de ajuste global	79
3.1.4. Procedimento	84
4. ENTRELAÇAMENTO	97
4.1. Introdução	99
4.2. Tipos de seção de entrelaçamento	101
4.2.1. Seções de entrelaçamento simples	102
4.2.2. Seção de entrelaçamento múltiplos	102
4.3. Características de operação	102
4.3.1. Movimento de entrelaçamento	103
4.3.2. Movimento não-entrelaçante em seções de entrelaçamento	105
4.4. Capacidade e níveis de serviço	105
4.5. Procedimentos de cálculo e avaliação	107
5. RAMPAS	111
5.1. Introdução	113
5.2. Fatores que afetam a capacidade das rampas	113
5.2.1. Entrelaçamento entre rampas	114
5.2.2. Volumes dos períodos de pico	114
5.2.3. Características de projeto	114
5.3. Níveis de serviço	114
5.4. Procedimento de cálculo para os níveis A, B e C	115
5.5. Avaliação e interpretação dos resultados	117
5.6. Procedimento para o nível D	121
5.7. Capacidade	122



características do tráfego

A capacidade de uma via é a medida da sua possibilidade de acomodação do volume de tráfego, obviamente do ponto de vista das suas características físicas. Entretanto existem outros fatores — relacionados com a demanda de tráfego e com a interação dos veículos no fluxo de tráfego — que influem na capacidade.

Neste capítulo, far-se-ão algumas considerações a respeito das características do tráfego, quais sejam: volume, velocidade, densidade e seus efeitos na capacidade de uma via.

1.1 — VOLUME DE TRÁFEGO

Volume de Tráfego é o número de veículos que passa por uma determinada secção de uma via na unidade de tempo. Conforme o objetivo do estudo, os volumes podem referir-se a um ou dois sentidos de movimento, ou podem ser considerados apenas uma parcela da secção (uma faixa, uma pista etc.) e ter como unidade básica de tempo o período de um ano, um dia ou uma hora.

São relacionados abaixo os volumes mais utilizados em estudos de engenharia de tráfego e algumas de suas aplicações:

a) Volume Anual:

- 1) determinar índice de acidentes;
- 2) estimar a receita para a implantação de pedágios; e
- 3) estudar as tendências de volume.

b) Volume Diário Médio (VDM):

- 1) avaliar a distribuição do tráfego num sistema de ruas;
- 2) medir a demanda atual em uma via; e
- 3) programação de melhorias básicas.

c) Volume Horário:

- 1) estudos de capacidade de vias;
- 2) projetos geométricos; e
- 3) estabelecer controles de tráfego.

1.1.1 — Composição

A corrente de tráfego é composta por veículos que diferem entre si quanto ao tamanho, peso e velocidade. Sua composição é a medida, em porcentagem, dos diferentes tipos de veículos que a formam.

A composição do tráfego é levada em consideração no dimensionamento das pistas de rolamento (influência do peso dos veículos); no projeto geométrico das vias (que considera as características de operação que dependem do tamanho e velocidade dos veículos); no planejamento de um sistema de transportes (número de passageiros que viajam de ônibus); nos planos de desvio de tráfego e em diversos outros estudos.

Os veículos, de uma maneira bem geral, são classificados em leves (automóveis, camionetas, peruas) e pesados (caminhões, carretas, ônibus) e somente alguns estudos específicos requerem uma classificação mais rigorosa.

Os veículos pesados, sendo mais lentos e ocupando maior espaço na pista, interferem na mobilidade dos outros veículos, acarretando um decréscimo na vazão de tráfego das vias. Assim, o efeito de um caminhão ou ônibus na corrente de tráfego é equivalente ao de vários automóveis. Em vista disso, é comum adotar um fator de equivalência (normalmente um caminhão ou ônibus correspondem de dois a cinco automóveis) e transformar um volume misto num volume equivalente de carros de passageiros.

A composição varia conforme a hora e de via para via. Nas horas de pico a porcentagem de veículos leves aumenta; nas ruas de acesso às rodovias ou áreas industriais, ou nas próprias rodovias, tem-se uma porcentagem de veículos pesados relativamente alta.

1.1.2 — Variações de Volume

Os fluxos de tráfego apresentam mutações contínuas em seus volumes. Existem fatores como consertos na pista, acidentes, chuva, quebra de semáforo etc., independentes do tempo, que alteram o volume de uma via. Entretanto, as variações de volumes mais importantes ocorrem em função do tempo e de uma maneira cíclica.

Desta forma, apesar do volume em uma rua mudar constantemente, repete-se em intervalos de tempo mais ou menos regulares. Três

variações cíclicas de volumes importantes são apresentadas: diária, semanal e anualmente.

a) Variação Diária

Os volumes horários ao longo das 24 horas do dia variam de maneira semelhante para a grande maioria das vias. A flutuação padrão apresenta os maiores volumes nas horas imediatamente anteriores e posteriores às horas normais (picos da manhã e da tarde). O intervalo das 12 às 14 horas também apresenta um volume relativamente alto, embora inferior aos de pico.

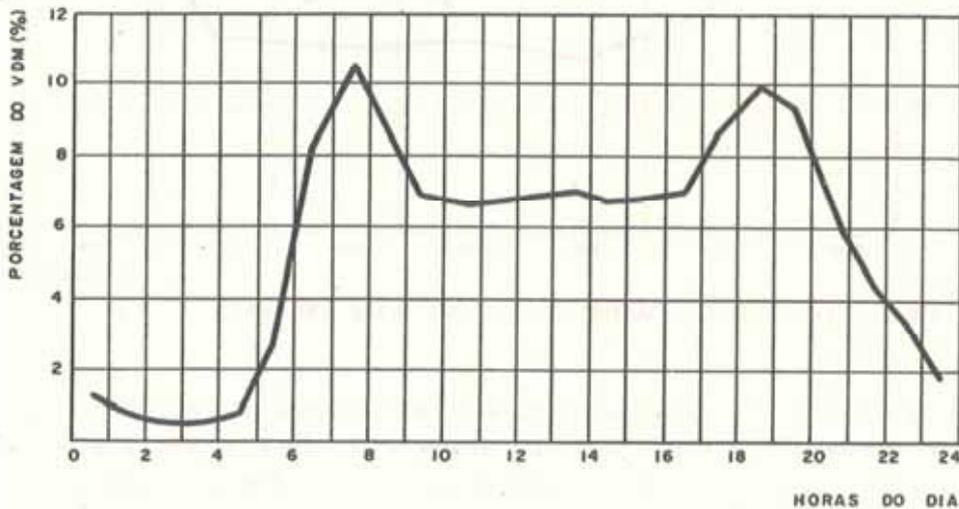


FIG. 1 — FLUTUAÇÃO DIÁRIA DO VOLUME (DIA ÚTIL DA SEMANA)

Normalmente, mais de 70% das viagens diárias ocorrem no intervalo de 12 horas, compreendido entre as sete da manhã e as sete da noite. Os volumes horários variam de 1 a 12% do volume diário. O volume horário médio é 4,2% do diário, sendo os valores de pico da ordem de três vezes o médio.

Numa via, quando há restrições de capacidade, os períodos de pico têm duração maior e intensidade menor (achatamento dos picos) e, em vias rurais, só há um período de pico, o da tarde.

b) Variação Semanal

Em vias urbanas, os volumes diários variam pouco no curso dos dias úteis da semana, com as segundas e sextas-feiras apresentando valores um pouco acima da média. O sábado tem um volume menor, mas os volumes mínimos ocorrem nos domingos e feriados.

Eventualmente a localização da via pode alterar esta flutuação padrão. Assim, em condições climáticas favoráveis, ruas de acesso a áreas de recreação têm seus picos exatamente nos sábados, domingos e feriados. A Fig. 2 mostra a forma típica da curva de variação semanal para as vias urbanas.

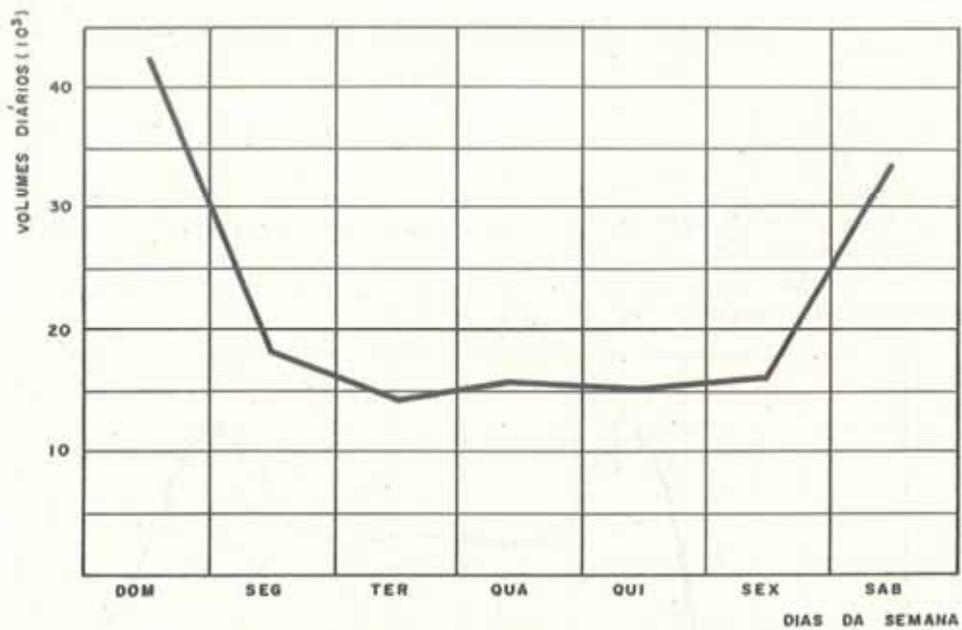


FIG. 2 — FLUTUAÇÃO SEMANAL DO VOLUME (VIAS URBANAS)

Em vias rurais, normalmente, os maiores volumes ocorrem nos fins de semana e feriados, podendo alcançar de duas a três vezes o volume médio semanal se estas vias servem cidades de veraneio.

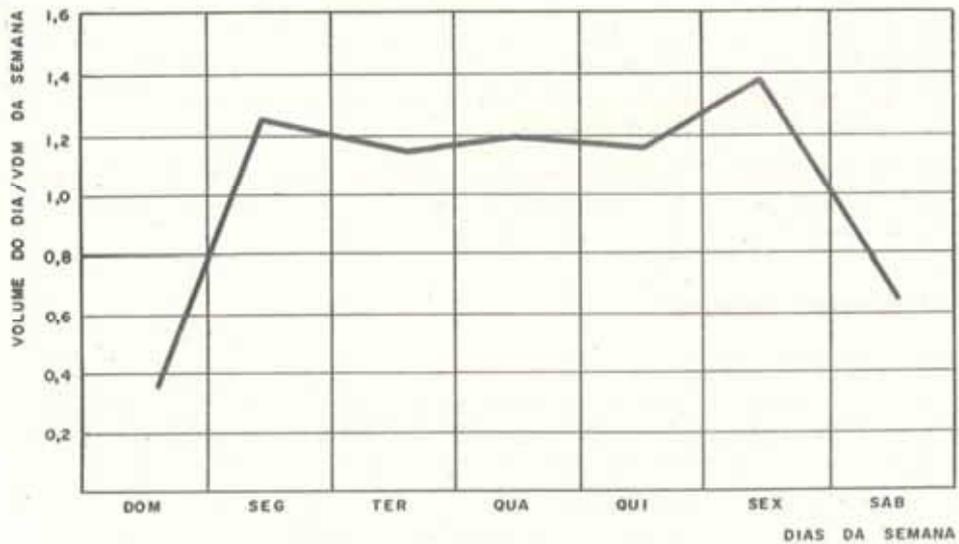


FIG. 3 — FLUTUAÇÃO SEMANAL DA VIA ANCHIETA (KM 52)

Fonte: Estudo da Rodovia dos Imigrantes — DERSA, São Paulo

Na Fig. 3 encontra-se a curva de flutuação semanal para a Via Anchieta (km 52), com contagens feitas de 7 a 13 de setembro de 1968, pelo DER de São Paulo.

c) Variação Anual

A flutuação é verificada através dos volumes mensais no curso de um ano, sendo mais sensível nas vias rurais do que nas urbanas.

De maneira geral, as alterações de volume mais significativas nas vias urbanas ocorrem no período de férias escolares. Nesta época, conforme as características da cidade, tem-se um acréscimo ou decréscimo da população e, portanto, do tráfego normal.

A variação do volume pode ser observada de acordo com a localização da rua dentro do contexto: ruas da área comercial têm tráfego intenso no mês de dezembro; em áreas industriais os volumes são relativamente constantes durante todos os meses do ano.

As vias rurais apresentam curvas de flutuação anual intimamente relacionadas com suas características de demanda recreacional, turística, utilitária ou mista etc. Dependendo da pertinência a cada um desses grupos, os valores mensais são diferentemente influenciados pelo calendário escolar, clima, época de colheita etc.

Na Fig. 4 encontra-se, como exemplo, a flutuação anual de tráfego de vias espanholas.

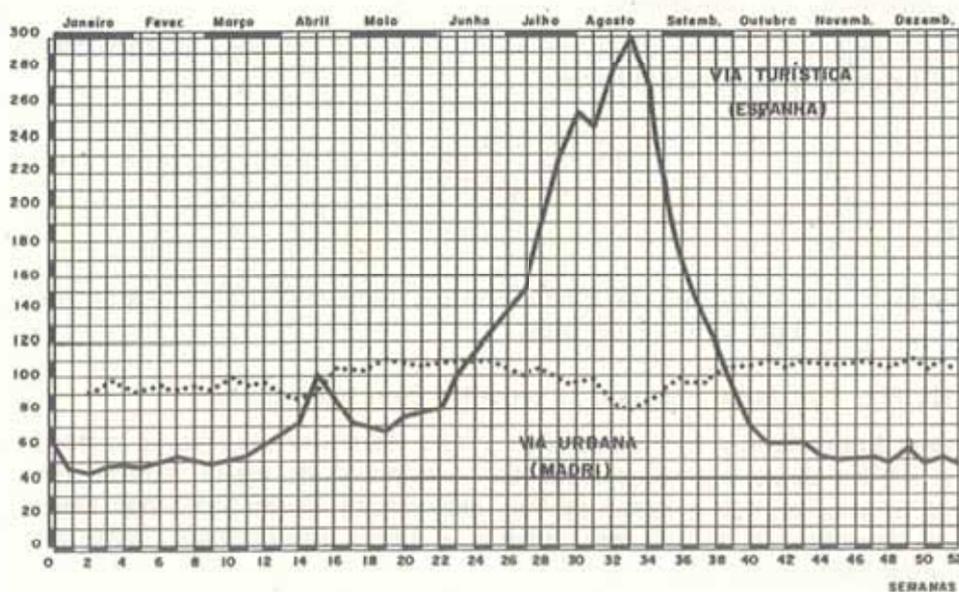


FIGURA 4 - VARIAÇÃO ANUAL DO TRÁFEGO

FIG. 4 — VARIAÇÃO ANUAL DO TRÁFEGO

Fonte: Engenharia de Tráfego — A. Valdez

d) **Variação Horária**

É comum estudar variação, que não é cíclica, só para horas de pico e para vias urbanas. A intensidade de tráfego durante a hora de pico pode ter valores bastante altos em algumas frações desta hora, relativamente baixos nas demais, ou manter-se mais ou menos uniforme durante toda ela. Quantifica-se este comportamento através do fator de pico horário (FPH)

$$FPH = \frac{V_{HP}}{4 \times V_{15}} \quad (1)$$

onde: V_{HP} — volume da hora de pico;

V_{15} — volume dos 15 minutos consecutivos de maior tráfego dentro da hora de pico.

Teoricamente, o FPH pode oscilar de 0,25 a 1,00 (FPH — 1,00 correspondente a um tráfego completamente uniforme em toda hora de pico) mas, em geral é de ordem de 0,85 (V_{15} — 0,30 V_{HP}).

Este fator varia com o tamanho da cidade, pois quanto menor a cidade menor é a duração do período de pico.

O FPH é muito utilizado em estudos de interseção em nível (dimensionamento de semáforos).

Para estudos de capacidade em vias expressas (tráfego ininterrupto) utiliza-se fórmula semelhante:

$$FPH = \frac{V_{HP}}{12 \times V_5} \quad (2)$$

onde: V_5 é o volume de cinco minutos consecutivos de maior tráfego na hora de pico.

Na Fig. 5 pode-se observar o conceito com mais clareza.

Esta figura ilustra como escolher a hora de maior volume de tráfego e, dentro desta hora, o período de 15 minutos de maior volume (ou de 5 minutos, nos estudos de vias expressas). Estão indicados ainda os volumes de minuto em minuto, o que é conveniente, mas não necessário à escolha.

O valor de FPH caracteriza o tráfego na hora de pico, como é observado na parte superior da figura, que representa um tráfego relativamente uniforme (FPH — 0,95), e na parte inferior (FPH — 0,70) com um volume de tráfego pouco uniforme.

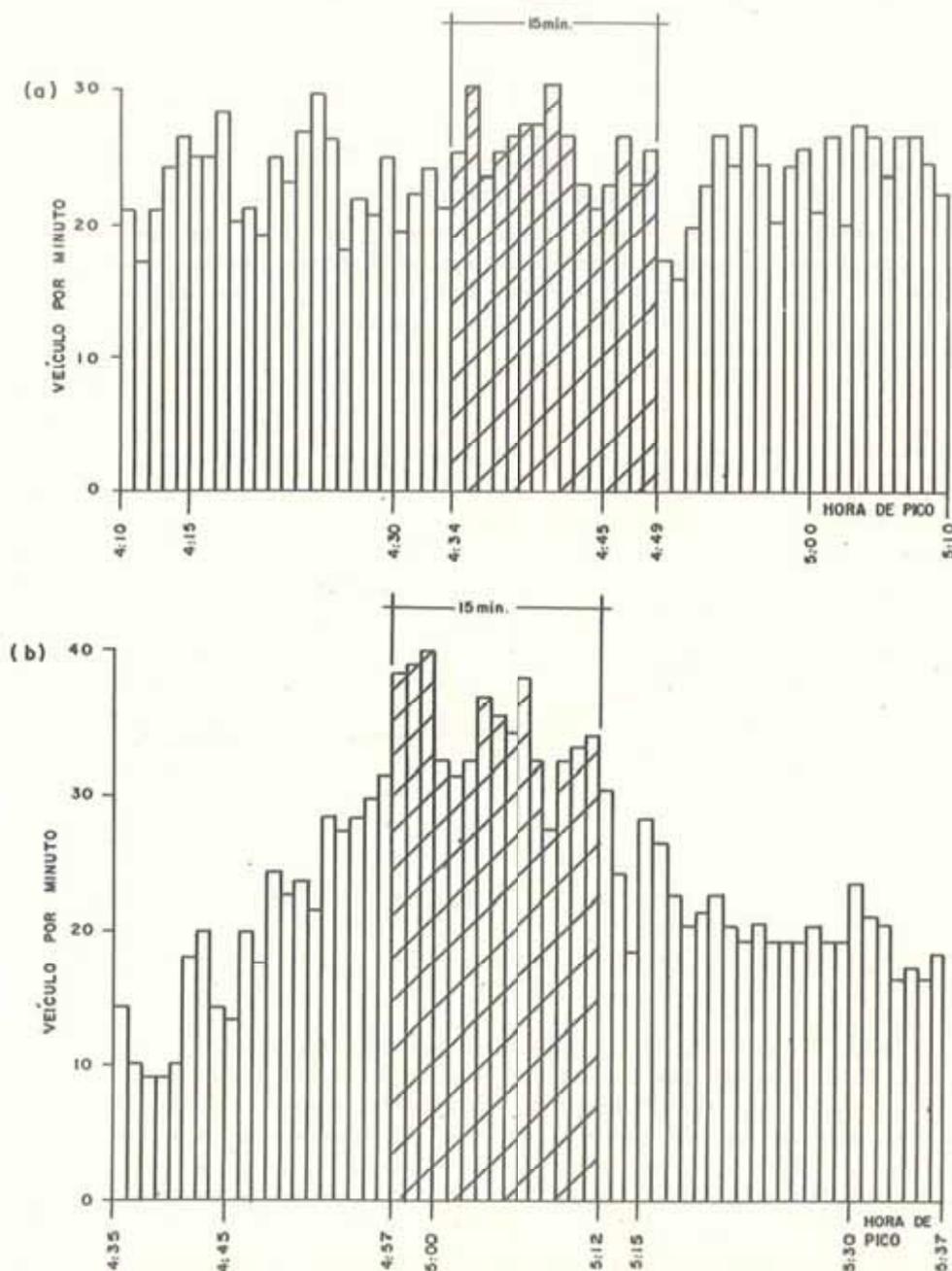


FIG. 5 — DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE PICO HORÁRIO (FPH).
 A) FPH ELEVADO (PEQUENA FLUTUAÇÃO DURANTE A HORA)
 B) FPH BAIXO (GRANDE FLUTUAÇÃO DURANTE A HORA)

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

1.1.3 — Variação Anual dos Volumes Horários

Projetar uma rodovia em condições ideais seria dar a ela condições de suportar a máxima demanda horária de projeto. Em tal situação,

em nenhuma hora do referido ano ocorreria congestionamento. Em contrapartida, os custos de construção alcançariam valores máximos. Desta forma, o dimensionamento de uma rodovia deve permitir um certo número de horas congestionadas e a decisão de qual número é aceitável é fundamental para a adoção do volume horário de projeto. Conhecendo-se todos os volumes horários no ciclo de um ano e plotando-os em ordem decrescente em um gráfico, tem-se uma curva do tipo mostrado na Fig. 6. A rigor, só estão plotadas as 100 primeiras horas de maior volume, suficientes para perceber-se a forma da curva.

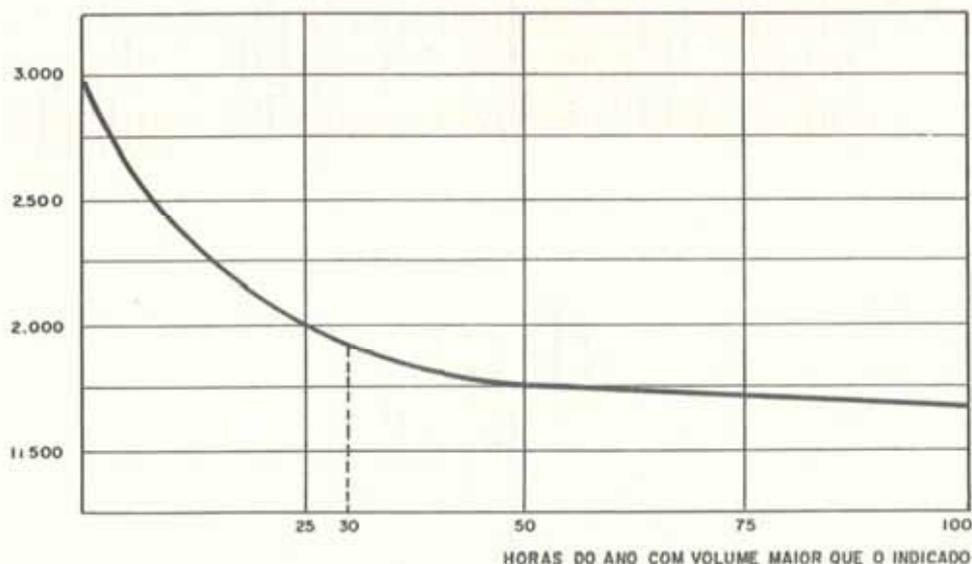


FIG. 6 — CURVA DE ORDENAÇÃO HORÁRIA DOS VOLUMES

A forma desta curva se mantém para a quase totalidade das rodovias, só diferindo naquelas que têm tráfego muito intenso em todo o ano. Ela apresenta uma peculiaridade importante: o ponto de máxima curvatura situa-se quase sempre por volta da trigésima hora. À esquerda dessa hora os volumes crescem muito rapidamente e, a sua direita, decrescem com uma variação que passa de moderada, no início, para muito lenta depois, tendendo a uma horizontal. Baseado nesta característica, adota-se o volume correspondente à trigésima hora como o volume horário de projeto, ou seja, dimensiona-se uma rodovia, prevendo-se 30 horas de congestionamento no ano. Como mostra o gráfico, um pequeno decréscimo deste número implicaria num aumento substancial do volume horário de projeto e, conseqüentemente, do custo de construção. Por outro lado, uma redução no custo acarretaria um aumento muito grande de horas congestionadas.

É bom lembrar que este não é um critério rígido, mas sim restrito, pelo fato de que a largura da rodovia não varia de maneira contínua como os máximos volumes horários, mas escalonadamente, em múltiplos de uma faixa (cerca de 3,60m de pista). Não é comum se ter todos os volumes horários no curso de um ano. Como as curvas de

ordenação apresentam, para a trigésima hora, porcentagens relativamente constantes do Volume Diário Médio (VDM) para cada tipo de rodovia, procede-se obtendo o VDM e utilizando como volume horário de projeto a porcentagem correspondente.

O VDM é facilmente obtido em vias existentes (para projetos de aumento de capacidade) através de contagens. Onde a rodovia vai ser implantada este valor é obtido através de estudos de transporte, cujos dados mais importantes são: pesquisas origem-destino nas rodovias vizinhas e características sócio-econômicas das cidades situadas em sua área de influência.

Nos Estados Unidos existem estações permanentes de contagem em algumas rodovias. Para as demais colhem-se amostras de volume durante o ano, determina-se o VDM, utilizando-se de fatores de ajuste. Como não se têm estas estações no Brasil, o procedimento utilizado é colher amostras e determinar o VDM baseado nos modelos americanos.

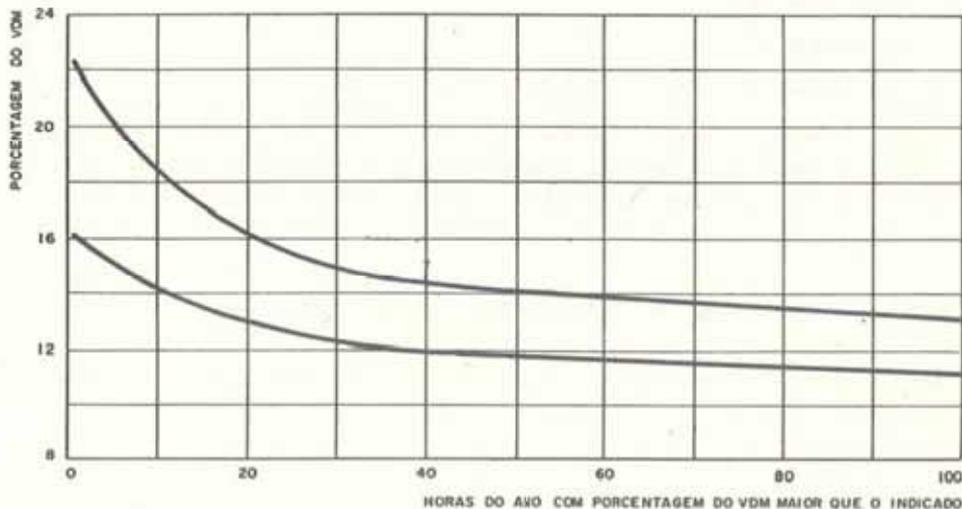


FIG. 7 — CURVA DE ORDENAÇÃO HORÁRIA DAS PORCENTAGENS DO VDM

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

A Fig. 7 ilustra a situação média nas rodovias rurais e auto-estradas urbanas americanas. Observa-se que o volume horário correspondente à trigésima hora de 15,2% do VDM nas estradas rurais de função mista (utilitária e recreacional), é de 12,3% do VDM nas auto-estradas urbanas, ou seja:

VHP estradas rurais — $0,152 \times \text{VDM}$

VHP auto-estradas urbanas — $0,123 \times \text{VDM}$

Portanto, as porcentagens do VDM correspondente à trigésima hora são maiores para as estradas de caráter recreacional ou turístico que o valor indicado acima e menores para as basicamente utilitárias; são menores para tráfego em dois sentidos e maiores para estradas rurais em relação às vias expressas urbanas.

1.2 — VELOCIDADE

Um dos fatores mais importantes para o motorista, na escolha do percurso para a realização de uma viagem, é o tempo. Além disso, também é importante o conforto e a segurança. Com a evolução da tecnologia, veículos mais rápidos e seguros têm sido fabricados, o que exige a construção de vias com projetos bem elaborados, que permitam velocidades mais adequadas e com uma boa segurança. Os benefícios alcançados com tais investimentos são medidos pela economia do tempo conseguida através do aumento de velocidade.

No entanto, existem certas limitações na velocidade, em função:

- da própria via;
- do trânsito existente;
- do próprio veículo;
- do motorista;
- do clima; e
- dos equipamentos de controle e sinalização.

Além dessas, existem certas diferenças de velocidade para um percurso realizado em zona urbana ou numa estrada rural. Nos itens subseqüentes procurar-se-á fazer algumas considerações a respeito da velocidade, como uma das características essenciais do tráfego.

1.2.1 — Conceitos de Velocidades e Suas Aplicações

Ao se falar em velocidade, pode-se referir à velocidade de um determinado veículo, de um grupo de veículos ou simplesmente a um valor que simbolize as influências do fluxo de veículos e da via. Os principais conceitos de velocidade utilizados são:

a) Velocidade de Projeto

É a velocidade selecionada pelo projeto geométrico e que condicionará todas as características de operação da via. Ela representa a máxima velocidade de segurança que pode ser mantida em um determinado trecho da via. Com base na velocidade de projeto, são determinadas as características dos alinhamentos horizontais e verticais, distâncias de ultrapassagem, superelevação e, em menor escala, as larguras das faixas e acostamentos.

Nos projetos de vias urbanas, as inúmeras limitações a que estão sujeitas podem acabar por restringir a velocidade de projeto. Entretanto, estas velocidades devem situar-se na faixa de 45km/h para vias arteriais e até 120km/h para vias expressas.

Um pequeno acréscimo na velocidade de projeto pode acarretar ou não um decréscimo sensível no tempo de percurso (Fig. 8). Uma velocidade ótima deverá ser obtida depois de uma análise econômica, tendo em vista, principalmente, as distâncias de viagem.

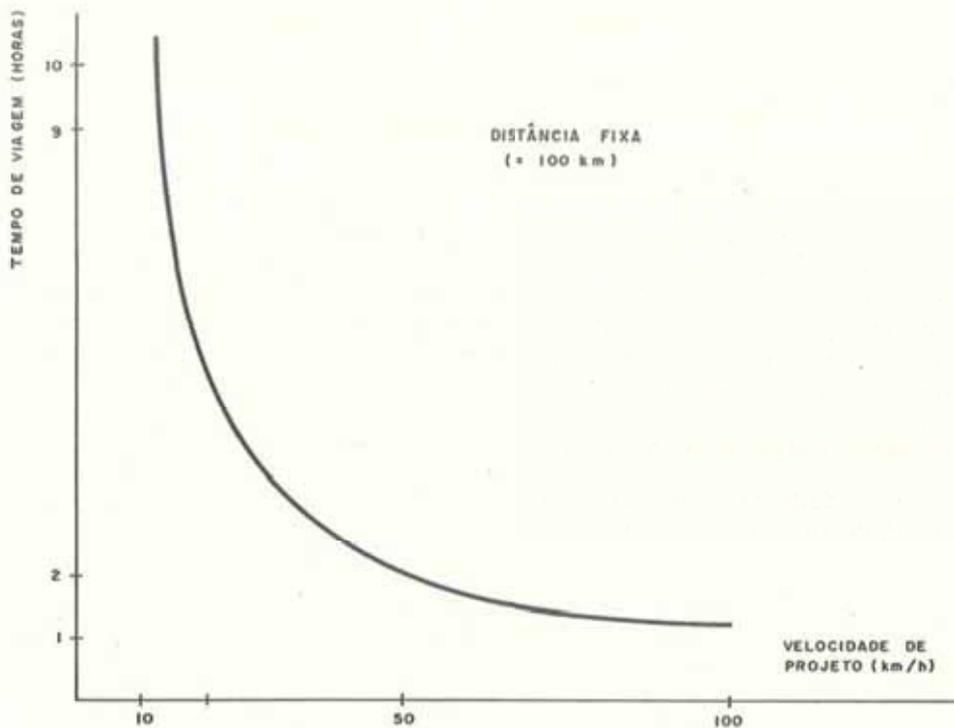


FIG. 8 — INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROJETO NO TEMPO DE PERCURSO

Em auto-estradas e vias expressas urbanas (pequenos percursos), não há uma grande vantagem em elevar a velocidade de projeto, pois acarretará um pequeno decréscimo no tempo de percurso. Além disso, a velocidade de projeto deve ser coerente com as condições físicas da região que a via atravessa.

A velocidade de projeto é geralmente definida a partir do valor desejado para a velocidade de percurso da via. Na Tabela 1 encontram-se alguns valores de correlação entre a velocidade de projeto e a velocidade de percurso determinados para os EUA.

TABELA 1
Relação entre Velocidade de Percurso Desejável e Velocidade de Projeto

ZONA	TIPO DE VIA	VEL. PROJETO	VEL. PERCURSO (km/h)	
			Baixos Vol.	Horas de Pico rush
URBANA	Arterial	50 - 80	40 - 70	30 - 50
	Expressa	80 - 110	60 - 100	50 - 80
RURAL	Arterial	60 - 100	40 - 70	30 - 50
	Expressa	100 - 120	80 - 110	60 - 80

Fonte: Aasho, Red Book, 1973

b) Velocidade Média de Projeto

É a média ponderada das velocidades de projeto dos diversos trechos de uma via com diferentes velocidades de projeto.

c) Velocidade de Percurso

Indica a velocidade constatada num determinado trecho de via e é representada pela distância dividida pelo tempo do veículo em movimento no referido trecho. A média para todo o tráfego (Velocidade Média de Percurso) é a somatória das distâncias percorridas dividida pela somatória dos tempos de percursos. Esta velocidade é geralmente aplicada para fluxo ininterrupto. Assim, é mais pertinente nos estudos de vias expressas ou arteriais com grande extensão e coordenação entre os semáforos.

A velocidade de percurso pode variar consideravelmente com a velocidade de projeto, volume de tráfego e interferências externas na rodovia.

Quando as velocidades de percurso, para as várias classes de rodovias, não podem ser definidas precisamente, é normal usarem-se os valores da Tabela 1.

Uma relação teórica da correlação entre a velocidade de percurso e a velocidade de projeto está indicada na Fig. 9.

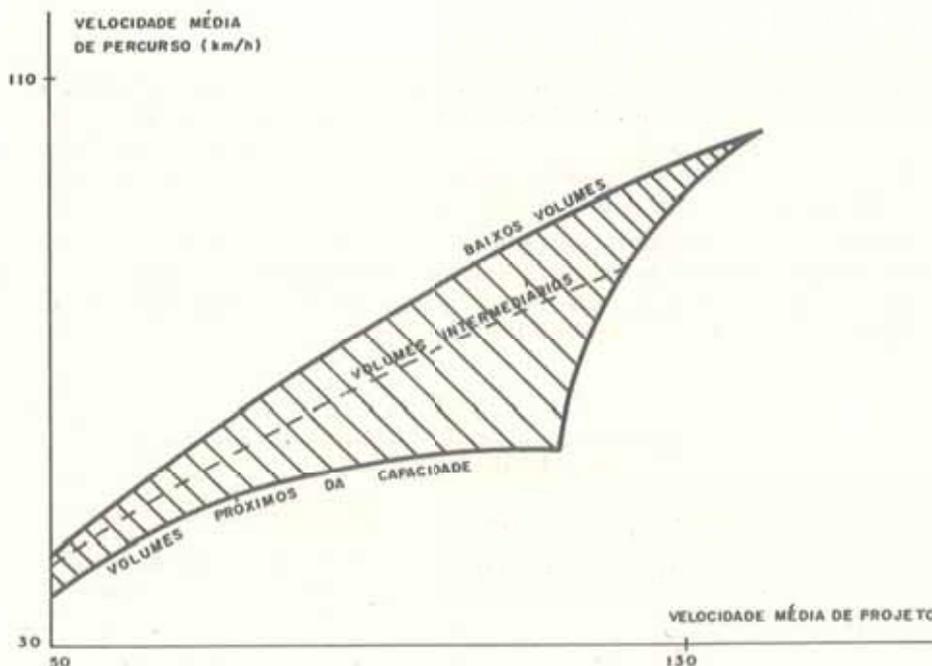


FIG. 9 — RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE PERCURSO E A VELOCIDADE DE PROJETO DE ACORDO COM OS VOLUMES DE TRÁFEGO

Fonte: Aasho, Red Book, 1973

A curva superior indica a velocidade com que o motorista faz seu percurso sem sofrer, praticamente, nenhuma influência do tráfego, devido aos baixos volumes. Quando o volume de tráfego se aproxima da capacidade de projeto da via, passa a valer a curva intermediária.

Se o volume de tráfego atinge os limites da capacidade da via, a velocidade de percurso é influenciada mais pelas condições de tráfego do que pela velocidade de projeto, especialmente quando a velocidade de projeto é superior a 80km/h.

De qualquer modo, as vias devem ser projetadas, para acomodar o volume de tráfego previsto, sem ficarem restritas a elevados graus de congestionamento.

d) Velocidade de Operação

Velocidade de Operação é a mais alta velocidade de percurso que o veículo pode realizar em uma determinada via, sob condições favoráveis de tempo e tráfego, sem exceder a sua velocidade de projeto. É utilizada nos estudos de capacidade e níveis de serviço da via. Para baixas velocidades de projeto, as velocidades de operação são próximas das de projeto, como, por exemplo, trecho da Serra da Via Anchieta. Quando a velocidade de projeto é alta, a velocidade de operação fica bem afastada da velocidade de projeto (Tabela 2).

TABELA 2

Relação entre Velocidade de Projeto e Velocidade de Operação

VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)	VELOCIDADE DE OPERAÇÃO (km/h)	RELAÇÃO VOp/VP (%)
50	45	90
70	60	85
80	65	80
100	75	75
120	85	70

e) Velocidade Pontual

É a média aritmética das velocidades de todo o tráfego num ponto específico da via. Para pequenos trechos da via, nos quais as características da velocidade não variam significativamente, pode ser considerada como representativa da velocidade média de percurso.

f) Velocidade Média Global

É a velocidade em um determinado trecho da via, determinada pela distância do referido trecho, dividido pelo tempo total da viagem, que inclui todos os tempos de parada (semáforos) e em movimento para a efetivação da viagem.

Este conceito de velocidade é o mais apropriado para serem estudadas as vias arteriais. A velocidade de percurso, neste caso, tem pequeno significado e é consideravelmente maior.

A relação entre a velocidade média global e a velocidade de percurso é a medida da eficiência da via, com a unidade representando as vias de acesso controlado, onde as paradas normalmente não ocorrem.

1.2.2 — Velocidade Como Medida das Condições de Operação

As velocidades de percurso, velocidade média global ou velocidade de operação, podem ser utilizadas para medir as condições de operações de uma via num determinado tempo. Elas variam com as características da via (incluindo a velocidade de projeto) e com o volume e a composição de tráfego.

A velocidade de operação excede a velocidade média de percurso em alguns quilômetros por hora nas vias arteriais com fluxo livre. É também mais sensível às modificações de volume do que a velocidade média de percurso. Entretanto, a velocidade de operação não mede, por si só, as reais condições de operação da via, sendo usada apenas como um índice dessas condições.

A velocidade de percurso pode ser medida em qualquer trecho e é comumente utilizada nas análises econômicas, bem como no projeto de algumas melhorias da via.

1.2.3 — Variação de Velocidade

Além da variação da velocidade determinada pela evolução tecnológica dos veículos e também pela própria via, existem variações de acordo com diversos outros fatores. Neste tópico far-se-ão algumas considerações a esse respeito.

a) Velocidade x Volume de Tráfego

É de observação relativamente fácil a variação que sofre a velocidade de um veículo, devido ao volume de tráfego da via. Este fato evidencia a influência do próprio tráfego como limitador da velocidade. Na Fig. 10 pode-se observar este efeito.

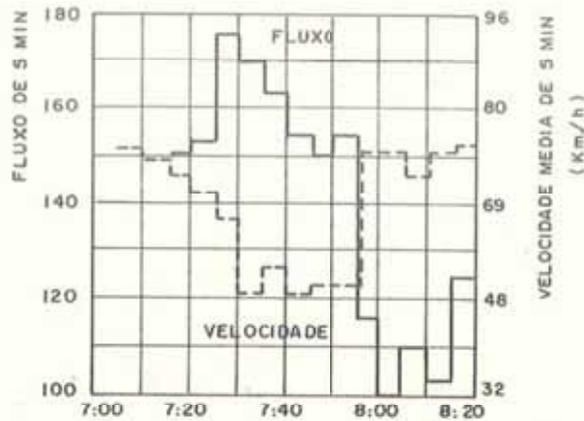


FIG. 10 — VARIÇÃO DA VELOCIDADE DE OPERAÇÃO EM FUNÇÃO DO VOLUME NO PERÍODO DE PICO DA MANHÃ (GULF FREEWAY, HOUSTON, TEXAS)

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

b) Velocidade x Hora do Dia

O mesmo raciocínio anteriormente exposto pode aqui ser ampliado, admitindo-se que os intervalos de tempo sejam as horas do dia. Na Fig. 11 pode-se observar esta correlação. Nota-se que, apesar de um grande fluxo de tráfego no período de pico da tarde (16-18h), não há uma redução na velocidade. Este fenômeno foi comprovado em outras vias dos Estados Unidos da América e pode ser explicado pelas características do viajante e os propósitos de viagem em cada uma das horas do dia.

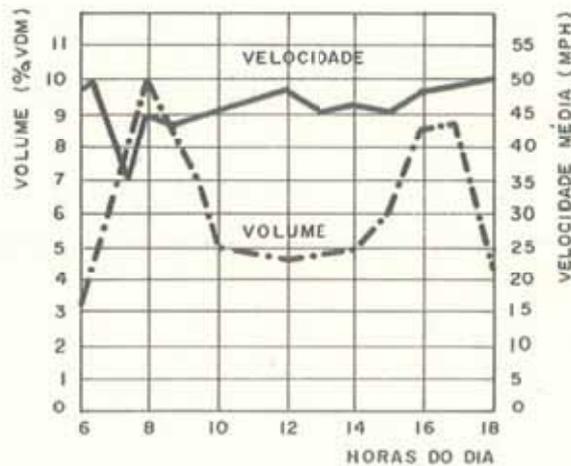


FIG. 11 — VARIÇÃO DA VELOCIDADE E VOLUME POR HORA DO DIA (FORD EXPRESSWAY, DETROIT, 1959)

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

Pode-se fazer certa distinção quanto ao padrão de viagens durante o dia e à noite. A velocidade máxima em ambos os períodos são da mesma ordem, mas com maior dispersão para o período noturno.

Na Fig. 12 estão indicados os valores encontrados na Davison Expressway, Detroit, 1959 e é apresentada a correlação entre a velocidade média e o tempo com velocidade média inferior à indicada, para os dois períodos. Nestas curvas, quanto mais vertical elas se apresentam, menor será a dispersão na distribuição das velocidades.

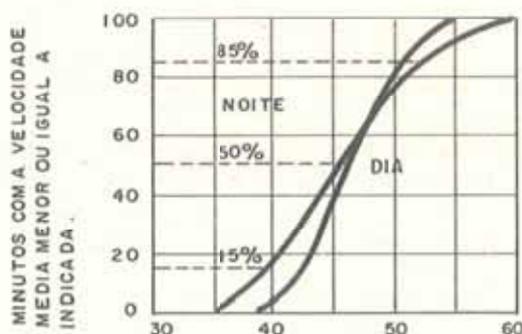


FIG. 12 — DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE NOS PERÍODOS DO DIA (DAVISON EXPRESSWAY, DETROIT, 1959)

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

c) Velocidade x Tipo de Via e Área

O conceito que um motorista tem, de uma determinada via, depende muito da velocidade com que pode circular pela mesma. Em rodovias rurais são raros os cascs de velocidade abaixo de 60km/h, enquanto na zona urbana, para uma via com as mesmas características, os motoristas aceitam maiores restrições.

As maiores velocidades correspondem às vias de trânsito livre (vias expressas bloqueadas), sendo ainda mais elevadas nas zonas rurais.

Para as outras vias, as velocidades vão diminuindo de acordo com o decréscimo da categoria da via e também conforme a área em que ela está situada (rural ou urbana).

Na Tabela 3 estão indicados alguns valores encontrados, nos EUA e Inglaterra, para diferentes tipos de vias.

d) Velocidade x Tipo de Veículo

De acordo com o tipo de veículo, com a região em que está localizada a via e com o horário da viagem encontram-se diferentes valores para a velocidade média pontual.

TABELA 3
Velocidades Segundo o Tipo de Via

a) Experiência Inglesa (Vias fora do centro da cidade)

Tipo de Via	Velocidade Média (km/h)	Desvio Padrão (km/h)
Via Principal da cidade	25	5,5
Via Suburbana — Próxima à área urbanizada	39	8,0
Via Suburbana — Afastada da área urbanizada	56	10,0
Via Rural	73	13,0
Vias Bloqueadas (estradas)	95	20,0

b) Experiência Americana

Tipo de Via	Velocidade Média (km/h)	
	Zonas densas	Zonas pouco densas
Vias arteriais	24	30
Vias Expressas Urbanas	55	65
Transportes Coletivos de Superfície	15	15

Fontes: Research on Road Traffic, Road Research Laboratory, 1965
Traffic Engineering Handbook, ITE, 1965

Uma comparação entre os tempos de viagem para a região central de uma cidade pode ser encontrada na Fig. 13. Os tempos de viagem total (porta a porta) são geralmente menores pelas vias expressas e transporte rápido de massa (metrô) e maiores quando feitas pelas vias arteriais ou transporte coletivo de superfície (ônibus).

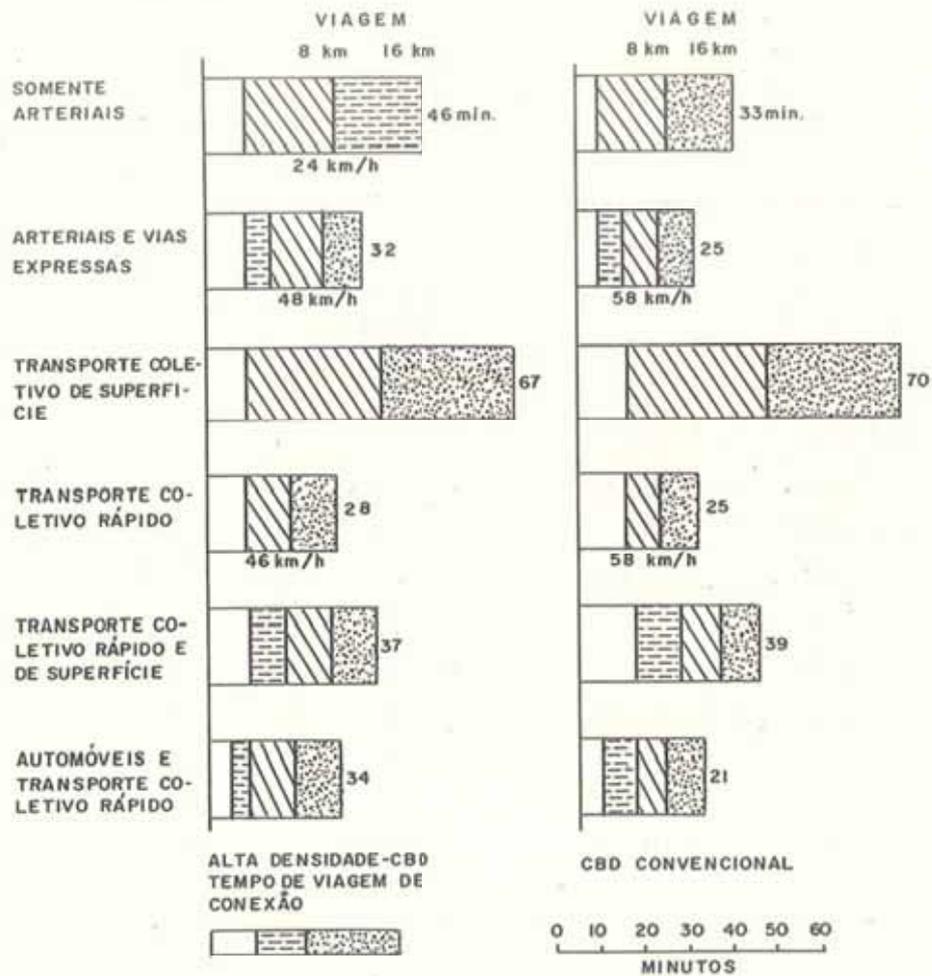


FIG. 13 — COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE VIAGEM PARA A REGIÃO CENTRAL POR AUTOMÓVEIS E POR TRANSPORTE COLETIVO

Fonte: Future Highways and a Urban Growth — Wilbur Smith and Smith and Ass.

As velocidades médias globais nas horas de pico nas áreas urbanas por tipo de veículos e via podem ser observadas na Tabela 4.

TABELA 4

Velocidade Média nas Horas de Pico em Relação ao Tipo de Veículo e Via

TIPO DE VIAGEM	Velocidade (km/h)	
	Áreas Densas	Outras Áreas
Automóvel		
Vias Arteriais	24	32
Vias Expressas	48-58	58-64
Transporte Coletivo		
Superfície (ônibus)	16	16
Rápido (metrô)	32	60 (ideal)

Fonte: Future Highways and Urban Growth — Wilbur Smith and Smith and Ass.

Estudos periódicos dos tempos de viagem por automóvel nas horas de pico têm sido realizados em diferentes cidades (principalmente nos EUA). Estes estudos permitem uma avaliação das mudanças no serviço de tráfego oferecido pelas construções de vias expressas, melhorias no sistema arterial, modernização do sistema de sinalização semafórica e inovações da engenharia de tráfego.

e) Velocidade x Faixas da Via

Conforme a distribuição transversal dos veículos na via (faixa) existe variação de velocidade. As faixas laterais apresentam velocidades inferiores a suas adjacentes, sendo que a faixa externa direita tem uma velocidade bastante inferior à da faixa externa esquerda, principalmente devido ao maior número de veículos comerciais que por ela trafegam.

Existe também um certo acréscimo na velocidade, nas faixas laterais principalmente, caso haja dispositivos que aumentem a segurança da pista, como, por exemplo, acostamento ou barreiras de segurança, iluminação etc.

A Fig. 14 mostra correlação entre as velocidades das várias faixas de uma auto-estrada.

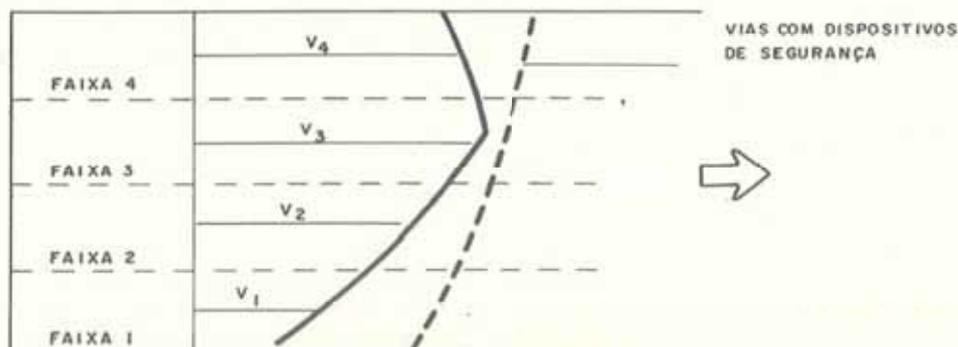


FIG. 14 — DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADE POR FAIXAS

f) Distribuição de Velocidades

Ao trafegarem por uma via os motoristas procuram escolher a velocidade que melhor se adapte a suas características e às do veículo. Entretanto, muitas vezes o volume do tráfego pode ser um fator restritivo nessa escolha. Tal fato obriga os motoristas mais velozes a diminuírem sua velocidade, provocando uma redução na gama de velocidade do tráfego.

Na Fig. 15 pode-se notar que, quanto mais vertical for a curva (maiores volumes), menor é a distribuição das velocidades.

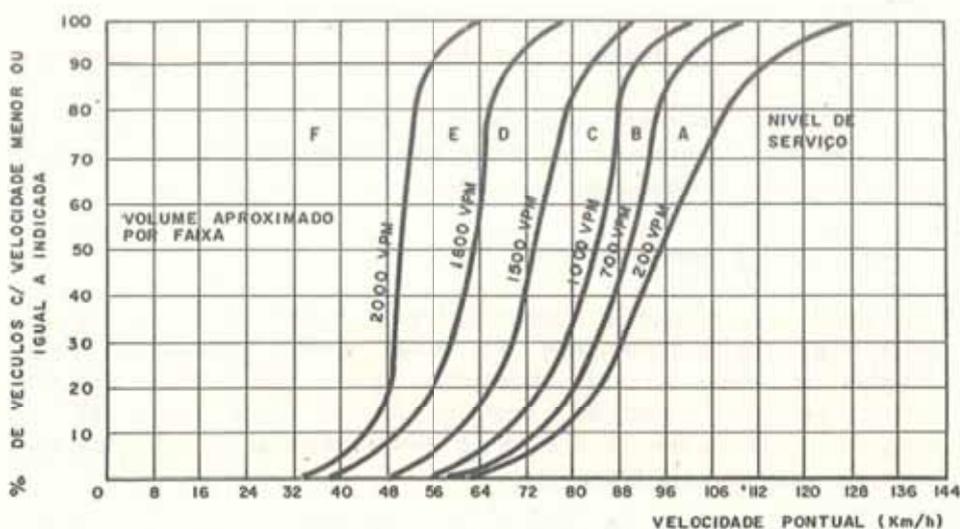


FIG. 15 — DISTRIBUIÇÃO TÍPICA DA VELOCIDADE, SOB CONDIÇÕES IDEAIS DE FLUXO ININTERRUPTO

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

1.2.4 — Influências na Velocidade

Algumas conclusões do que foi anteriormente considerado e de experiências práticas a respeito da influência da velocidade estão a seguir enumeradas:

- a) Motorista
 - quanto maior o percurso, maior a velocidade;
 - velocidade maior, quando sozinho; e
 - velocidades menores, quando acompanhado.
- b) Veículo
 - velocidades menores (2,4km/h/ano) de acordo com a idade do veículo;
 - veículos comerciais têm velocidades menores; e
 - ônibus com velocidades superiores às dos caminhões.
- c) Via
 - pavimentos não revestidos com velocidades acerca de 15km/h menores do que as pavimentadas;
 - greides ascendentes longos dispersam a gama de velocidades; e vice-versa nos greides descendentes;
 - frequência de interseções a velocidade; e
 - curvas acentuadas diminuem a velocidade.

- d) Hora
 - velocidades bem menores nas horas de pico;
 - pequena redução da velocidade à noite, apesar de uma certa compensação nas curvas; e
 - maior rendimento durante a noite nas rodovias sinuosas.
- e) Clima
 - condições climáticas desfavoráveis (chuva, neblina, granizo etc.), contribuem para uma grande diminuição da velocidade.
- f) Regulamentação
 - tendência de redução da gama de velocidades quanto maior for a fiscalização policial; e
 - efeito semelhante ao anterior, mas em menor escala, quanto maior for a sinalização de advertência.

1.3 — DENSIDADE

1.3.1 — Considerações Iniciais

Os estudos de capacidade de interseções, entrelaçamento, rampas e outras análises das características das vias requerem dados quanto ao espaçamento e o intervalo entre os veículos.

O espaçamento dos veículos também tem aplicação na estimativa da frequência de chegada num determinado ponto, no projeto das faixas de acumulação estimativa dos retardamentos no fluxo, nos estudos de cruzamento de pedestres, nos estudos de sincronização de semáforos etc.

Vê-se, portanto, a grande importância destas características na operação do tráfego.

1.3.2 — Relações Matemáticas

Define-se como ESPAÇAMENTO (e) a distância entre as respectivas partes dianteiras de dois veículos sucessivos (numa mesma faixa); por sua vez, o tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto é denominado INTERVALO (I).

Estas duas grandezas descrevem a disposição longitudinal dos veículos no fluxo de tráfego de uma via.

A relação entre estas duas variáveis é dependente da velocidade ($I = e/V$) e é bem representativa no caso de dois veículos.

Torna-se entretanto muito mais complexa quando as velocidades individuais dos veículos variam consideravelmente. Para contornar este problema é utilizado o conceito de Densidade (d), geralmente expressa em veículos/km num determinado período de tempo (hora).

Matematicamente, tem-se:
$$d = \frac{1.000 \text{ (m/km)}}{e \text{ (m/veic.)}} \quad (3)$$

onde e representa o espaçamento médio dos veículos que percorrem um determinado trecho da via, na unidade de tempo (hora, por exemplo).

Uma relação semelhante, entre o intervalo médio e o volume, pode expressar-se por:

$$V \text{ (veic./h)} = \frac{3.600 \text{ (S/h)}}{I \text{ (S/veic.)}} \quad (4)$$

1.3.3 — Espaçamento Como Medida da Capacidade

Embora o volume seja a característica mais significativa do tráfego e forneça uma medida do nível de congestionamento de uma via, o espaçamento e o intervalo afetam os motoristas individualmente, porque indicam ao mesmo tempo uma maior ou menor liberdade de movimento (ou congestionamento) e de segurança relativa, influenciando inclusive a escolha da velocidade e posição do veículo.

O posicionamento dos veículos nas áreas de entrelaçamento, entradas e saídas ultrapassam a freqüência e o comprimento de "buracos" no fluxo de veículos, governam a possibilidade de entrar ou cruzar o fluxo de tráfego.

Porque o espaçamento afeta grandemente a operação de um veículo individualmente, as reações do motorista têm um efeito muito grande na capacidade de uma via.

Fundamentalmente, o volume de tráfego por unidade de tempo varia diretamente com a velocidade e inversamente com o espaçamento entre veículos.

Desse modo, tem-se:

$$\text{Volume} = \frac{\text{Velocidade}}{\text{espaçamento}} \quad (5)$$

De acordo com este critério determina-se a capacidade máxima de uma faixa através de uma análise do espaçamento mínimo a diversas velocidades. Este espaçamento é considerado como sendo função do tempo de reação do motorista, do espaço requerido para uma freada brusca e, obviamente, o comprimento do veículo.

Alguns estudos não consideram o tempo de parada como condicionante do espaçamento mínimo, tendo em vista que os dois veículos sucessivos percorreriam uma mesma distância até parar.

Outros estudos utilizam o conceito de um tempo potencial de colisão como critério do intervalo mínimo (e portanto espaçamento mínimo), independentemente da velocidade. Este intervalo varia de 0,5 a 2 segundos, dependendo das condições do tráfego e do motorista, com um valor médio de 1,5 segundos. Este valor indica uma capacidade de 2.400 v/h por faixa, observada em curtos períodos de

tempo, sob condições excepcionais de tráfego, o que torna inviável a consideração desse conceito como indicador da capacidade de uma faixa de tráfego.

1.3.4 — Distribuição dos Intervalos e Fluxo Aleatório

Os veículos que utilizam uma via normalmente se movimentam com intervalos distintos, tendendo, inclusive, a formar grupos de veículos — os chamados PELOTÕES, mesmo com volumes baixos de tráfego.

Para cada nível de volume de tráfego haverá um intervalo médio; no entanto, os intervalos individuais sofrem uma grande variação, com vários veículos andando com pequenos intervalos e outros separados por largos intervalos de tempo.

Nas Figs. 16 e 17, estão indicadas uma distribuição de intervalos (e a média) para veículos, trafegando num mesmo sentido em rodovias de pista simples (duas mãos) e pista dupla para vários volumes sob condições de fluxo ininterrupto. Por exemplo, na Fig. 16, pode-se observar que, para um volume de 600 v/h, aproximadamente 400 veículos trafegam com um intervalo inferior a 6 segundos do carro à frente.

Um estudo teórico das características dos intervalos pode ser efetuado, admitindo-se chegadas aleatórias dos veículos em um determinado ponto, isto é, a posição de cada veículo é independente dos demais e trechos iguais de uma via têm a mesma probabilidade de conter o mesmo número de veículos. Nesse caso a distribuição de Poisson é aplicável com suas expressões derivadas.

Entretanto, a distribuição de Poisson admite valores de intervalos a partir de zero, o que não ocorre na prática, onde existe um mínimo

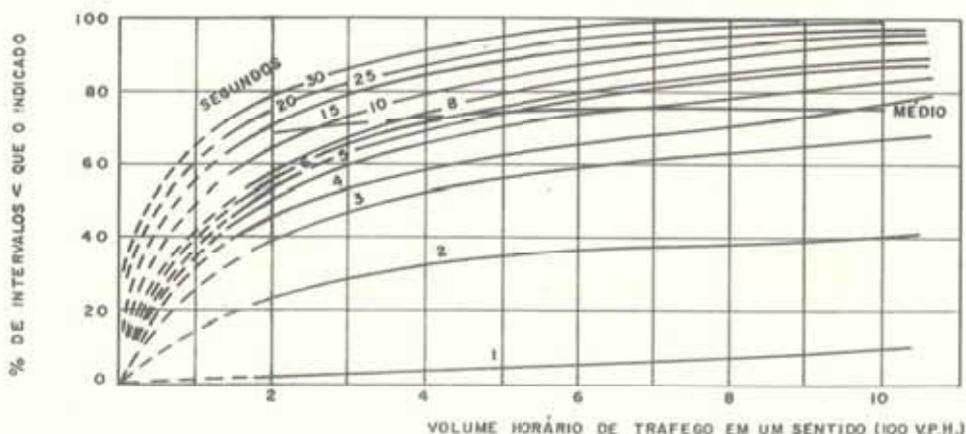


FIG. 16 — DISTRIBUIÇÃO DE INTERVALOS ENTRE VEÍCULOS SUCESSIVOS DE ACORDO COM OS VOLUMES — VIA RURAL, MÃO DUPLA

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

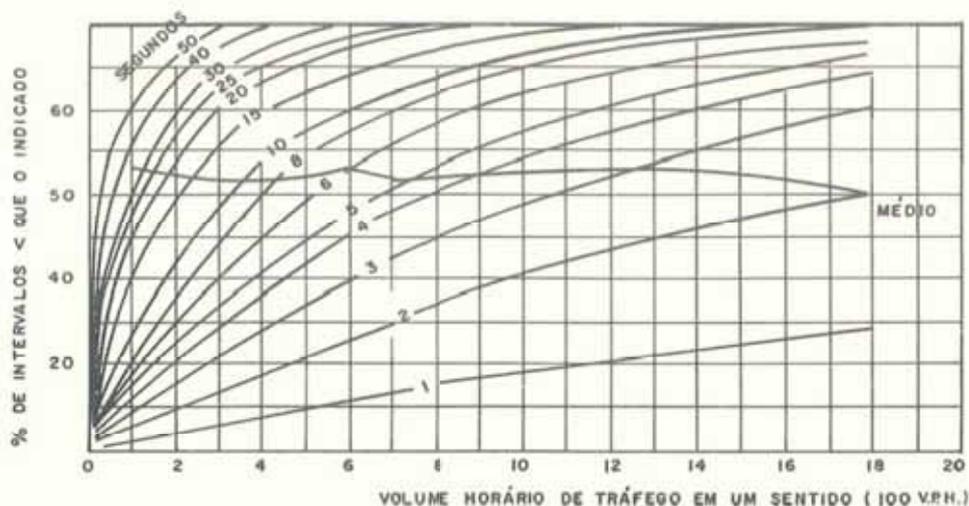


FIG. 17 — DISTRIBUIÇÃO DE INTERVALOS ENTRE VEÍCULOS SUCESSIVOS DE ACORDO COM OS VOLUMES DE TRÁFEGO — VIA RURAL, PISTA DUPLA DE DUAS FAIXAS CADA UMA

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

limitado pela alta probabilidade de colisão e, logicamente, o comprimento do próprio veículo.

Assim, têm surgido distribuições derivadas da original de Poisson por vários autores, obtendo resultados bastante próximos da realidade.

Uma aplicação do estudo da distribuição de intervalos refere-se à determinação de pontos de cruzamentos de pedestres, pontos de entrada ou saída de veículos na via, a colocação e o tempo de um semáforo para pedestres etc.

1.3.5 — Efeitos de Interrupções do Tráfego nos Intervalos

É de fácil observação que a distribuição dos intervalos em uma via com semáforos deixa de ser aleatória devido à formação dos pelotões. Após a abertura do semáforo haverá um conjunto compacto de veículos que se vai dispersando à medida em que se distancia do local da interrupção, até encontrar um novo obstáculo quando é novamente formado o pelotão.

Essa dispersão pode ser maior quando houver muitos pontos de saída da via, no percurso até a nova interrupção, ou vice-versa quando houver muitas entradas.

A determinação desses fatores torna-se importante num estudo de sinais progressivos (onda-verde), ou no cálculo das oportunidades para veículos e pedestres cruzarem a via.

Têm sido elaborados estudos procurando desenvolver modelos cinemáticos de simulação, cujos resultados têm sido confirmados na prática.

1.4 — RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE, VOLUME E DENSIDADE

Neste item procurar-se-á fazer um sumário dos conceitos anteriormente expostos e seus inter-relacionamentos. A princípio foram utilizadas relações simples, como por exemplo o efeito do volume na velocidade, permanecendo constantes as demais variáveis.

Estudos mais recentes têm utilizado leis de outras áreas de física e matemática (dinâmica, cinemática, hidráulica), com grande sucesso. Com a computação, o fluxo de tráfego está sendo simulado com crescente realismo, cujos resultados estão servindo de base para inúmeros estudos.

1.4.1 — Relação Volume x Velocidade

A relação fundamental entre volume e velocidade pode ser expressa: "Aumentando o volume de tráfego, a velocidade média espacial diminui".

Essa relação é válida desde condições de tráfego com fluxo livre, até a iminência do congestionamento (densidade crítica — fluxo máximo). Entretanto, quando este ocorre, a densidade aumenta bruscamente e tanto a velocidade como o volume diminuem, ou tornam-se iguais a zero.

Podem-se estabelecer curvas (Fig. 19) que indicam a relação acima exposta. A região hachurada indica condições de tráfego grandemente instáveis; qualquer perturbação extrema provoca imediatamente um congestionamento.

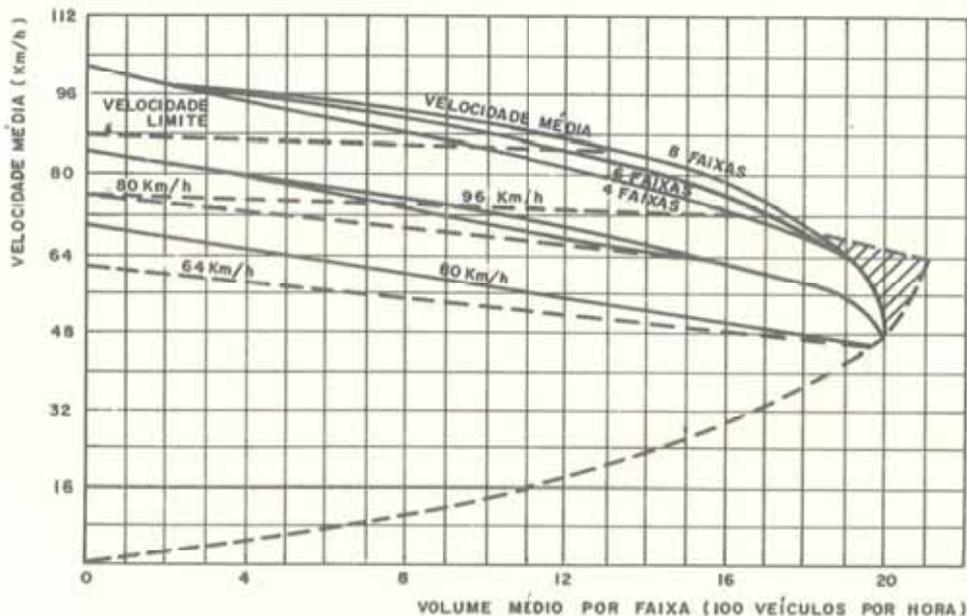


FIG. 18 — RELAÇÃO ENTRE VOLUME E VELOCIDADE NUMA VIA EXPRESSA SOB CONDIÇÕES IDEAIS DE FLUXO

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

Os diversos estudos já realizados indicaram que tais curvas variam de seção para seção de uma via e, conseqüentemente, para vias diferentes obter-se-ão curvas distintas.

As curvas mostraram ser sensíveis a inúmeros fatores tais como: atritos laterais, freqüência de entradas e saídas, condições de tempo, número de acidentes anteriores e outros de difícil quantificação. Portanto, quando da realização de um estudo com o objetivo de determinar a curva velocidade x volume, devem-se identificar todos os fatores presentes que possam influenciar de algum modo no resultado.

1.4.2 — Relação Entre Velocidade x Densidade

A maioria dos comentários feitos no item anterior podem ser adaptados no presente caso: a densidade de uma via aumenta com a diminuição da velocidade. No entanto, a densidade da via continua a aumentar após a densidade crítica, enquanto o fluxo diminui (Fig. 19).

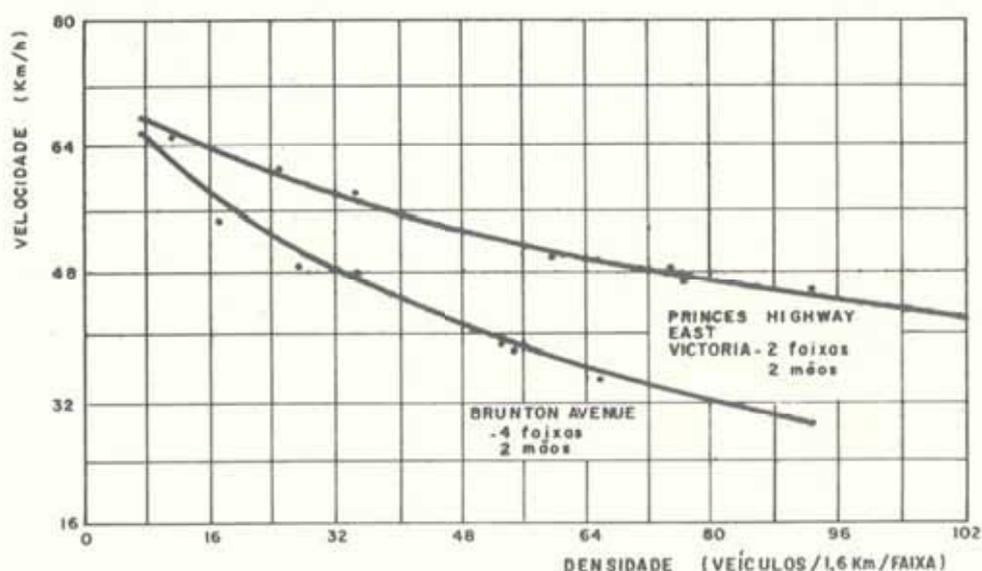


FIG. 19 — RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE E DENSIDADE, SOB CONDIÇÕES DE TRÁFEGO ININTERRUPTO

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

1.4.3 — Relação Entre Densidade x Volume

A relação entre a densidade e o volume, de um modo geral, é curvilínea; um aumento na densidade acarreta um aumento no volume, até atingir o ponto da densidade crítica, a partir do qual o fluxo

diminui com o aumento da densidade. Teoricamente, a densidade poderia aumentar até o ponto em que os veículos estariam juntos, com um fluxo de tráfego nulo (Fig. 20).

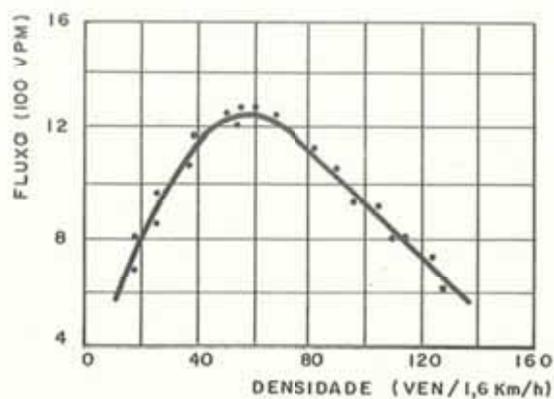


FIG. 20 — RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E VOLUME (HOLLAND TUNNEL, NEW YORK)

Fonte: Highway Capacity Manual — HRB

2
capacidade e níveis de
serviço para fluxo ininterrupto

2.1 — INTRODUÇÃO

Atualmente os problemas que envolvem demanda de viagens são relativamente simples, pois essa demanda é facilmente prevista. Em projeto de vias, conhecida a demanda, torna-se necessário determinar qual o tipo de via a ser construída para acomodar a demanda prevista.

Essa determinação requer o conhecimento das capacidades de carregamento de tráfego, dos níveis de serviço em vias de todos os tipos. Isso significa não só o conhecimento do máximo volume que uma via pode suportar, mas, dentro dos vários volumes e condições de operação, qual deve ser considerado o melhor.

A partir desses conceitos é que se desenvolve toda uma teoria para o cálculo e dimensionamento das vias, dentro dos padrões de operação desejados.

Os números apresentados, no que se segue, são retirados dos manuais do HRB e do ITE, que não refletem exatamente o que ocorre nas estradas brasileiras. Sabe-se de antemão que os volumes observados em vias brasileiras são maiores do que os observados em vias americanas do mesmo tipo, possivelmente por ser o veículo moda* brasileiro menor que o americano e devido às maneiras diferentes dos motoristas dirigirem. Como isso não está ainda suficientemente comprovado e quantificado, os números adotados são considerados como satisfatórios.

* MODA = estatística, o que é mais freqüente

2.2 — CAPACIDADE

Capacidade é o máximo número de veículos que pode passar sobre uma dada seção de uma dada faixa ou via em uma direção (ou em ambas para vias de duas ou três faixas) — durante a unidade de tempo nas condições normais de tráfego e da via. De um modo geral capacidade é um volume horário. A capacidade nunca poderá ser excedida sem que as condições da via considerada sejam modificadas.

O cálculo da capacidade de uma via é feito em função da sua capacidade, em condições ideais, tanto de tráfego, como das suas próprias condições físicas.

Desta forma a capacidade de uma via depende de quanto as condições de plataforma e tráfego se distanciam das condições ideais. A capacidade será tanto menor quanto maior distância houver entre essas condições.

Para efeito de análise, definem-se como condições ideais:

- a) fluxo contínuo, livre de interferências laterais de veículos e pedestres;
- b) somente veículos de passageiros na corrente de tráfego;
- c) 3,60m para as faixas de tráfego, com acostamento adequado, e sem obstruções laterais, a menos de 1,80m do limite do pavimento; e
- d) para rodovias rurais, alinhamentos vertical e horizontal satisfatórios, para uma velocidade média igual ou maior a 112km/h (70 mph), com distâncias de visibilidade iguais ou maiores a 450m, nas vias de duas ou três faixas de tráfego.

Poucas vias possuem essas condições, com exceção apenas de vias de alta qualidade de projetos, as Parkways, que são vias expressas exclusivas para automóveis.

A Tabela 5 mostra a capacidade das vias, em função do número de faixas considerando a "via ideal".

TABELA 5 *
Capacidade para Condições Ideais

Tipo de Facilidade	Capacidade
Vias com várias faixas de tráfego	2 000 veículos de passageiros por hora, por faixa média
Vias de duas faixas e duas mãos de direção	2 000 veículos de passageiros por hora, total em ambos sentidos
Vias de três faixas duas mãos de direção	4 000 veículos de passageiros por hora, total em ambos sentidos

* Não usar em cálculo

Em certas vias expressas, são atualmente observados valores acima de 2.400 veículos/hora, em uma ou mais faixas, mas a média de 2.000 veículos/hora por faixa, na direção do movimento mais pesado ainda se mantém. Deve ficar bem claro que a capacidade de uma seção de uma via dificilmente será atingida.

Obviamente para o engenheiro de tráfego a capacidade é um valor muito importante, pois ela dá o valor limite do número de veículos que poderão passar por uma dada seção, mas também não deve ser um número absoluto porque nada diz a respeito das condições de operação da via.

Geralmente, condições próximas à capacidade são inaceitáveis pela maioria dos motoristas, devido à existência de congestionamento e de baixas velocidades.

2.3 — NÍVEIS DE SERVIÇO

Quando o engenheiro de tráfego enfrenta problemas de dimensionamento, muitas vezes é forçado a assumir um nível de serviço pobre para não envolver orçamento por demais elevado.

No entanto os motoristas e administradores desejam que as vias operem nas melhores condições possíveis.

Para medir as diversas condições de operação, desenvolve-se o conceito de "níveis de serviço". Nível de Serviço é uma medida qualitativa do efeito de numerosos fatores, incluindo velocidade e tempo de viagem, interrupções no tráfego, liberdade de movimentos, conforto e conveniência do motorista e, indiretamente, segurança e custos operacionais.

Foram qualificados seis níveis de serviço, designados por A, B, C, D, E e F.

Qualquer seção de uma via pode operar em diversos níveis de serviço, dependendo do instante considerado, visto que os volumes de tráfego sofrem variações temporais (horárias, semanais, sazonais etc.).

Os seis níveis de serviço representam, cada um, uma variação em que os extremos são definidos superiormente pelo volume e inferiormente pela velocidade. São determinados separadamente para cada seção da via considerada, dependendo das condições de uniformidades.

A Fig. 21 apresenta os níveis de serviço, ilustrando duas condições básicas a serem satisfeitas para que a operação da via se enquadre num desses níveis.

- 1) velocidade de operação ou a velocidade média global da via são iguais ou maiores ao valor padrão do nível considerado; e
- 2) a relação do volume/capacidade de uma subseção não excede a um determinado valor padrão de nível.

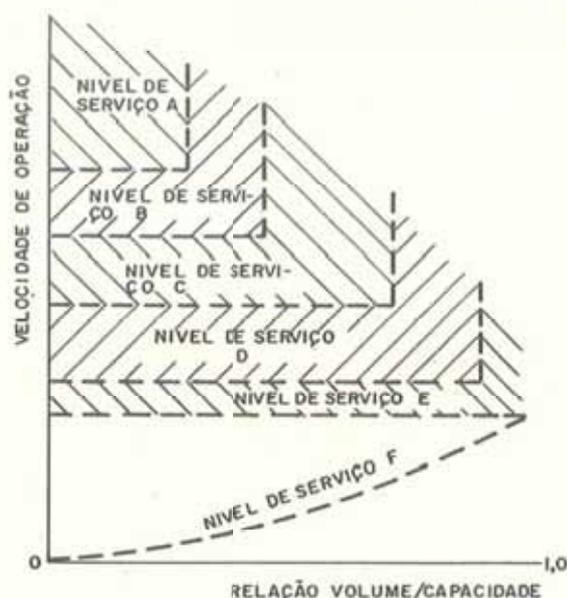


FIG. 21 — CONCEITO GERAL DOS NÍVEIS DE SERVIÇO RELACIONADOS COM VELOCIDADE DE OPERAÇÃO E VOLUME/CAPACIDADE

Fonte: HCM, 1965

Os diversos níveis de serviço são assim definidos:

Nível A: Condição de escoamento livre, caracterizada por baixos volumes e altas velocidades de tráfego. A densidade do tráfego é baixa, com velocidades de escoamento controladas pelo desejo do motorista ou a limites de velocidade regulamentados ou a condições físicas da via. Não há restrições devido à presença de outros veículos.

Nível B: Fluxo estável, com velocidades de operação começando a ser restringidas pelas condições de tráfego. Os condutores possuem razoáveis condições de liberdade para escolher a velocidade e faixa para circulação. A probabilidade de reduções de velocidade é muito baixa. Os limites desse nível (a menor velocidade e a maior volume) são utilizados para o dimensionamento de rodovias rurais.

Nível C: Fluxo ainda estável, mas a velocidade e a liberdade de movimento são controladas pelas condições de tráfego. Muitos motoristas não têm liberdade de escolher faixa ou velocidade, havendo restrições quanto à ultrapassagem. A velocidade de operação é satisfatória, sendo geralmente utilizada para projeto de vias urbanas.

Nível D: Próximo à zona de fluxo instável, com velocidades de operação toleráveis, mas consideravelmente afetadas pelas condições de tráfego, as flutuações no volume e as restrições temporárias podem causar quedas substanciais na velocidade de operação.

OBS.: Os motoristas sentem-se tolhidos, perdendo a liberdade de movimento e são prejudicados. Essas condições são toleradas por curtos períodos de tempo.

Nível E: Não pode ser descrito apenas pela velocidade, mas apresenta a velocidade de operação, nas vizinhanças de 50km/h, com os volumes próximos à capacidade da via. O fluxo é instável e com paradas de duração momentânea.

Nível F: Descreve o escoamento forçado, a baixas velocidades e com volumes abaixo da capacidade. No extremo, volume e velocidade caem para zero.

Estas condições normalmente são resultantes de bloqueios à corrente, ocasionando a formação de filas. As paradas tanto podem ser momentâneas como demoradas, havendo formação de congestionamento.

2.4 — FATORES QUE AFETAM A CAPACIDADE E OS VOLUMES DE SERVIÇO

A capacidade foi definida anteriormente apenas para condições ideais. Faz-se necessário, pois, um estudo sobre certos fatores que fogem a essas condições e que, naturalmente, influem na capacidade e nos volumes de serviço.

Esses fatores são divididos em categorias: fatores físicos ou plataforma e fatores de tráfego.

Foram determinados como fatores de ajustes para o cálculo da capacidade e volumes de serviços e correlacionam as condições ideais às reais de uma via.

2.4.1 — Fatores Físicos

Os fatores físicos a serem discutidos são: largura de faixa, afastamento lateral, acostamento, faixas auxiliares, condição de superfície, alinhamento e greide.

Largura da faixa

As faixas mais estreitas têm menor capacidade, sob condições de fluxo contínuo, que as faixas de 3,60m, aceitas como o limite, acima do qual a capacidade da via não sofre mais acréscimo.

Numa via de duas faixas e duas mãos de direção, um veículo, para efetuar ultrapassagem, obstrui a faixa de sentido contrário ao seu, por um tempo maior quando as faixas são mais estreitas. Em vias de várias faixas, os veículos invadem as faixas adjacentes, com mais freqüência quando elas são mais estreitas, ocupando duas faixas em vez de uma.

A Tabela 6 dá as capacidades para faixas de 2,70 a 3,60m de largura, expressas em porcentagem da capacidade de uma faixa com 3,60m de largura. Estes fatores são aplicáveis apenas a condições de fluxo contínuo.

TABELA 6 *

Redução da Capacidade de Função da Largura da Faixa

Largura da Faixa (m)	Redução da capacidade (relativamente à faixa de 3,60m)	
	Vias de 2 faixas	Via de mais de 2 faixas
3,60	100	100
3,30	88	97
3,00	81	91
2,70	76	81

* Não usar em cálculo

Obstrução Lateral

Acredita-se que as guias têm influência desprezível nas operações de tráfego. Entretanto, outras obstruções laterais (muros de retenção, postes de sinais, postes de semáforos, carros estacionados, guarda-corpo de fontes) localizados a menos de 1,80m da faixa de tráfego, reduzem consideravelmente a largura efetiva da faixa.

A Tabela 7 mostra, como exemplo, como o afastamento lateral, restrito em ambos os lados de uma via de duas mãos, 7,20m de largura, fluxo contínuo, reduz sua largura efetiva.

TABELA 7 *

Largura Efetiva da Via de Redução da Capacidade Devido à Obstrução Lateral

Distância da obstrução lateral à extremidade do pavimento, ambos os lados (m)	Largura efetiva de duas faixas de 3,60m	Redução da capacidade (relativamente à faixa de 3,60m)
1,80	7,20	100
1,20	6,60	92
0,60	6,00	83
0,00	5,10	72

* Não usar em cálculo
Fonte: HCM, 1965

É preciso avaliar criteriosamente os efeitos das restrições laterais sobre o nível de serviço oferecido por uma dada seção da rodovia, onde as restrições não são contínuas em toda a sua extensão.

Obstruções contínuas (barreiras no canteiro central, anteparos de longos viadutos, guias altas) podem ter seu efeito negativo menos acentuado que obstruções menores, porém intermitentes.

Deve-se lembrar que as distâncias de obstrução lateral, consideradas "ideais" do ponto de vista da capacidade, 1,80m ou mais, não são necessariamente adequadas quanto à segurança.

As Tabelas 6 e 7 são apresentadas apenas como informação, não sendo usadas em problemas reais. Utiliza-se, então, o efeito combinado largura de faixa — obstrução lateral.

Efeitos combinados da largura da faixa e obstrução lateral

Na prática, efeitos de largura de faixa e afastamento lateral são inter-relacionados. Para conveniência na solução de tais problemas, um único fator de ajuste, que traduz a combinação dos efeitos são fornecidos pelas Tabelas 9, 15 e 21. Elas apresentam ajustes para casos onde existe obstrução em um ou em ambos os lados da pista, a iguais distâncias.

Nos casos onde as obstruções existem em ambos os lados, mas a diferentes distâncias, é aceitável a interpolação entre fatores. Por exemplo, dado um recuo de 1,20m de um lado e de 0,60m do outro, numa rodovia de 4 faixas de 3,00m, o fator final será a média aritmética dos fatores f_1 e f_2 , determinados como sendo:

f_1 = fator de obstrução lateral a 0,60m de ambos os lados e

f_2 = fator de obstrução lateral a 1,20m de ambos os lados.

TABELA 8 *

Efeito Aparente da Qualidade do Alinhamento (Representado Pela Velocidade Média de Projeto) Sobre a Capacidade

Velocidade Média de Projeto	Redução da Capacidade (relativamente àquela com alinhamento ideal)	
	Vias de 3 ou mais faixas	Vias de 2 faixas
112	100	100
96	100	98
80	96	96
64	—	95
48	—	94

* Não usar em cálculo
Fonte: HCM, 1965

Acostamento

A necessidade de acostamentos adequados é essencial para a capacidade de uma via. Sem um local para refúgio, um veículo avariado terá de parar na pista, obstruindo uma faixa. O veículo parado, além

de bloquear as faixas, diminui a capacidade das faixas adjacentes, pois os veículos que trafegam na faixa bloqueada, precisando mudar de faixa, reduzem as velocidades abaixo daquela necessária para manter a via operando a plena capacidade. Por esse motivo, um acidente, por menor que seja, pode ocasionar o congestionamento de uma via que opere próximo a sua capacidade. Também a adição de acostamento para refúgio de veículos avariados, quando bem tratado, aumenta a largura efetiva da via, quando as faixas têm menos de 3,60m. Por exemplo um acostamento asfaltado, com 1,20m ou mais, aumenta a largura efetiva da faixa adjacente em 30cm.

Faixas Auxiliares

Uma faixa auxiliar é a porção de rodovia adjacente à via diretamente percorrida, usada para estacionamento, mudança de velocidade, entrelaçamento, conversão, separação de veículos lentos em aclives longos e íngremes, e outros propósitos suplementares para movimento direto de tráfego. As faixas auxiliares servem também para permitir a utilização efetiva da capacidade, ou para melhorar a qualidade de serviços nas faixas de tráfego direto. São usadas principalmente nos seguintes casos:

Como Auxiliar em Mudanças de Velocidades

As influências do tráfego que entra ou sai da corrente principal de tráfego são muito complexas para serem representadas por fatores de correção simples. Nesses locais, são necessárias análises completas de capacidade. Para evitar influência restritiva, podem-se utilizar faixas auxiliares para aceleração ou desaceleração.

As faixas de aceleração ou desaceleração permitem que o veículo aumente ou diminua sua velocidade até a valores próximos das condições normais de operação da rodovia, não afetando, pois, a velocidade dos veículos da corrente principal de tráfego.

Como Auxiliar Para Conversão e Armazenagem

As faixas especiais para conversão, tanto à direita como à esquerda, podem melhorar consideravelmente a operação de uma interseção, fornecendo uma largura de aproximação maior, impedindo, ao mesmo tempo, o bloqueio do tráfego direto por veículos à espera de uma oportunidade para conversão. As faixas de conversão podem ser consideradas como prolongamento da faixa de desaceleração.

Como Auxiliar em Seções de Entrelaçamento

Onde dois ou mais fluxos de tráfego juntam-se e separam-se de novo sobre uma distância relativamente pequena, com substancial entrelaçamento associado entre fluxos, pode haver um gargalo de capacidade a menos que, dentre outras providências, faixas auxiliares sejam providas através da seção. Isto é verificado tanto no caso de seções básicas de entrelaçamentos, onde convergem e logo após divergem fluxos semelhantes, como no caso de seções de entrelaçamentos produzidas em interconexões por rampas de acesso seguidas de rampas de saídas.

Como Faixa Auxiliar para Caminhão e Ultrapassagem

Embora faixas para caminhões e para ultrapassagem sejam claramente tipos de faixas auxiliares, estão tão intimamente relacionadas com o assunto de greides que serão vistos adiante.

Condições de Superfície

Uma pavimentação deteriorada e mal conservada afeta adversamente o nível de serviço e a capacidade em termos de segurança e conforto.

Em qualquer rodovia onde a capacidade é uma consideração significativa, será raro o caso de manutenção tão pobre, que a velocidade de 50km/h (velocidade aproximadamente na qual a capacidade é atingida), não possa ser mantida.

Não se conseguiu até o momento dados para permitir determinar coeficientes para ajustes, que reflitam o efeito da pavimentação na capacidade de uma via; para os níveis de melhores serviços os efeitos das condições de superfície são óbvios, porque não permitem o desenvolvimento de velocidades compatíveis com a velocidade mínima de operação naqueles níveis.

Alinhamento

Os alinhamentos horizontal e vertical de uma rodovia são fatores importantes, que afetam suas possibilidades qualitativas de carregamento de tráfego. Embora a velocidade de projeto seja um indicador comum do alinhamento, não é uma medida suficiente para propósitos de nível de serviço, porque toma em consideração apenas as características de curvas individuais. Assim, não considera a frequência de tais curvas e dos comprimentos das tangentes intervenientes, embora esses fatores tenham influências pronunciadas nas velocidades de operação. Para a elaboração de projetos de rodovia, tornou-se necessário definir "velocidade média de projeto" como sendo média ponderada das velocidades de projeto dentro da seção da via, quando se verifica que cada subseção dentro da seção possui velocidade diferente. Em função dessas velocidades são determinadas as reduções de capacidade em função da via com alinhamento ideal, e sua influência sobre os níveis de serviço.

Devem-se considerar, também para o estudo da influência do alinhamento na capacidade, as distâncias de visibilidade, ou seja, distância de visibilidade para frenagem e distância de visibilidade para ultrapassagem. Esta última só terá significado quando se tratar de vias de duas mãos de direção com duas ou três faixas.

A distância de visibilidade de parada é a distância necessária para parar um veículo a partir de uma dada velocidade, depois que se torna visível um objeto sobre a pista.

Distância de visibilidade para ultrapassagem é a mínima necessária para ultrapassar outro veículo segura e confortavelmente, sem afetar a velocidade do veículo que trafega em sentido contrário, se ele é visto depois que a ultrapassagem começa. O mínimo estabelecido

para esta distância é de 450m. Em vias de duas faixas essas distâncias são calculadas e normalmente demarcadas no solo através de faixas contínuas.

O efeito da qualidade do alinhamento sobre a capacidade e os volumes de serviço que uma rodovia pode carregar é expresso em termos de velocidade média de projeto e da porcentagem da rodovia com distâncias de visibilidade para ultrapassagem no mínimo de 450m (para rodovias de duas ou três faixas).

A Tabela 8 é apresentada apenas para informação, a fim de demonstrar o fato de que a capacidade parece ser ao menos levemente relacionada com a velocidade média de projeto. Isso porque a velocidade de operação na capacidade está relativamente fixa, em cerca de 50km/h. Os fatores de ajustes necessários são incluídos em outras tabelas.

Greide

Os greides afetam a capacidade de uma rodovia da seguinte forma:

- a) a presença de um greide é geralmente associada a restrições na distância de visibilidade, afetando assim a porcentagem de comprimento de seções de rodovias de duas faixas, nas quais manobras de ultrapassagem podem ser executadas seguramente. Este efeito é considerado na seção anterior sob o título "Alinhamento";
- b) a distância de frenagem dos veículos é menor em aclives e maior em declives, relativamente a trechos planos, de forma a manter um espaçamento seguro; e
- c) os caminhões com suas cargas normais andam a velocidades menores em aclives, principalmente se o aclive for longo e íngreme. Isto também é válido, até certo ponto, para carros de passageiros. A maioria dos carros de passageiros, entretanto, pode fazer aclives elevados de 6 ou 7% de rampa, à velocidade acima de 50km/h. Portanto, o efeito de aclives de até 7% sobre a capacidade de carros de passageiros é geralmente desprezível.

O maior problema ainda continua sendo nas vias de duas faixas, onde o efeito dos caminhões em aclives é conhecido, pois a perda de velocidade dos caminhões, subindo rampas de inclinação acentuada é bem caracterizada e mensurável. Em vias de mais de duas faixas o efeito é menos caracterizado apesar de se observar, com bastante facilidade, que os condutores de veículos evitam com mais frequência as faixas de baixas velocidades onde trafegam os caminhões. Conhecendo-se o efeito de um greide particular sobre a velocidade dos caminhões, por si mesmo, não nos capacita a determinar seu efeito sobre a capacidade. Também é necessário conhecer a influência dos caminhões e ônibus no fluxo de tráfego.

Efeito está traduzido em termos de carros de passageiros equivalentes, ou o "equivalente em carros de passageiros". A informação apresentada nesta seção se aplica em conjunto com a dada na seção subsequente "Fatores de Tráfego".

Faixas Auxiliares Para Caminhões

Em aclives extensos e íngremes, há grande diferença entre a velocidade normal de carros de passageiros e a velocidade normal de caminhões. Com efeito, caminhões em greides ocupam o espaço de um número maior de carros de passageiros, particularmente em rodovias de duas faixas, resultando em volumes de serviço e capacidades menores. Embora a necessidade para oportunidades de ultrapassagem seja maior em longos aclives, as oportunidades de ultrapassagem são geralmente mais escassas. Faixa para caminhões fornecem um meio para melhorar tanto a capacidade como o nível de serviço em aclives íngremes, percorridos por volumes significativos de caminhões. Em certas condições, as faixas para caminhões melhoram a qualidade de toda uma seção de rodovia de duas faixas com aclives, até um nível superior ao de um alinhamento idêntico, sem aclives. A introdução de faixas para caminhões reduz grandemente o efeito dos caminhões na faixa de tráfego direto, ao mesmo tempo que aumenta a oportunidade de ultrapassagem. Embora os volumes efetivos na faixa de tráfego direto possam não ser muito reduzidos, os volumes equivalentes em carros de passageiros são passíveis de ser substancialmente reduzidos.

2.4.2 — Fatores de Tráfego

Vias de características geométricas idênticas podem apresentar diferentes capacidades, pois são influenciadas pela composição do tráfego e hábitos e desejos dos motoristas que a utilizam. Estes fatores, denominados tráfego, incluem: caminhões, ônibus, distribuição por faixas, variações no fluxo de tráfego e interrupções de tráfego.

Caminhões

Caminhões (definidos para propósitos de capacidade como veículos para transporte de carga com pneus duplos em dois ou mais eixos) reduzem a capacidade de uma via em termos do total de veículo/hora. Sua influência na corrente de tráfego é medida em termos de equivalente em carros de passageiros.

Quando os caminhões podem manter velocidades iguais ou próximas à dos carros de passageiros, são equivalentes e independem do nível de serviço. Esses valores são apropriados para muitos declives. Em aclives o equivalente em veículos de passageiros pode ser maior, dependendo da rampa de aclividade e seu comprimento, e do número de faixas da via.

Efeito de Caminhões em Vias de Duas Faixas

Em vias de duas faixas, o equivalente em veículos de passageiros dos caminhões pode ser obtido com relativa facilidade. Ele pode ser diretamente determinado pela obtenção de informações deta-

lhadas das velocidades e intervalos de tempo entre os veículos, durante variações de fluxo em vias com diferentes perfis e alinhamentos. O equivalente médio em veículos de passageiros é obtido para os caminhões sob cada condição.

O equivalente pode ser obtido também, com grande precisão, através da distribuição de velocidades de veículos de passageiros e caminhões em um determinado volume.

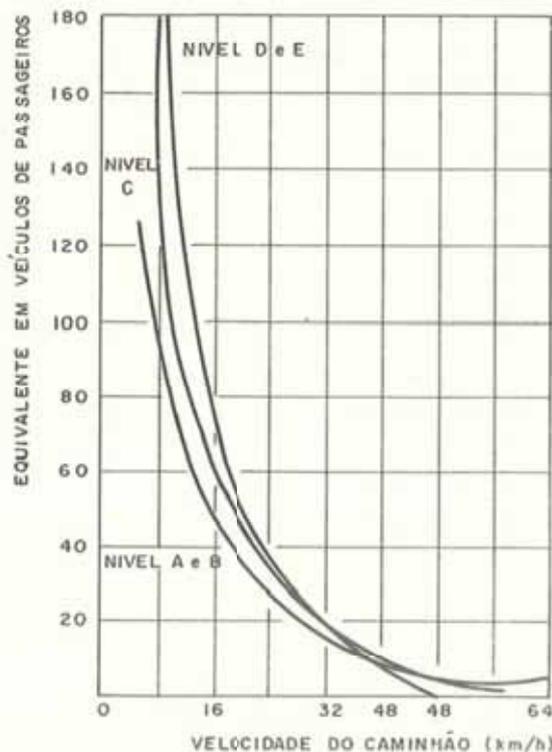


FIG. 22 — EQUIVALENTE EM VEÍCULOS DE PASSAGEIROS PARA CAMINHÕES TRAFEGANDO EM VIAS DE DUAS FAIXAS

Fonte: HCM, 1965

Efeito de Caminhões em Vias de Várias Faixas

Para as vias de várias faixas de tráfego o ajuste para caminhões é pouco definido, pois os efeitos quantitativos dos caminhões na capacidade não são tão conhecidos como nas vias de duas faixas.

O problema é então complexo, envolvendo não só os fatores descritos para as vias de duas faixas, mas também outros elementos, como distribuição do tráfego entre as faixas, ultrapassagem de caminhões por caminhões e efeito psicológico dos caminhões em uma faixa sobre os motoristas da faixa adjacente.

Um ou poucos caminhões pesados em um aclave de uma via com várias faixas de tráfego podem ter um grande efeito, mesmo quando

a via opera com volumes baixos, pois a maioria dos motoristas prefere as outras faixas, restringindo seu nível de operação.

As Tabelas 10, 16 e 22 fornecem os equivalentes em veículos de passageiros, para cálculos globais de capacidade de uma seção de uma via.

Uma relação simples, como a da Fig. 22, para vias de duas faixas, não pode ser desenvolvida para vias de faixas múltiplas devido a vários fatores de influência.

A conversão de volumes em equivalentes a carros de passageiros para tráfego misto é efetuada pela utilização da fórmula 1, ou vice-versa, pela fórmula 2. As Tabelas 11, 17 e 23 mostram os valores usuais para os fatores de ajuste de caminhões ou ônibus. As tabelas utilizadas para determinação dos fatores para caminhões servem também para ônibus.

Quando se deseja maior precisão para o cálculo, devem-se combinar as influências de ônibus e caminhões, o que não é seguro em muitos casos devido aos limites de conhecimento atuais.

A conversão de equivalentes em veículos de passageiros para ônibus pode ser feita pela fórmula:

$$\frac{100}{100 - PO + EO PO} \text{ Fórmula 1} \qquad \frac{100 - PO + EO PO}{100} \text{ Fórmula 2}$$

onde: PO (pc) é a porcentagem de ônibus interurbano (caminhão)

EO (ec) equivalente do ônibus (caminhão) em veículos de passageiros.

Distribuição dos Veículos por Faixa

Em vias de várias faixas de tráfego, nem todas as faixas possuem o mesmo volume. Numa via de seis faixas, operando sob condições ideais na capacidade, em uma seção típica, os volumes em cada faixa em uma direção serão: 1.700 vph na faixa 1 (mais à direita); 2.100 vph na faixa 2 e 2.200 vph na faixa 3 (junto ao canteiro central).

Não se pode generalizar esta distribuição, pois as condições locais a serem consideradas são muitas. O que pode ser generalizado é que, na faixa 1, sempre ocorrem os volumes mais baixos e na faixa 3, mais à esquerda, os mais altos. Isto quando a via opera em condições ideais. Os volumes das faixas mais à esquerda são maiores porque os motoristas evitam a faixa à direita, faixa 1, onde o fluxo é mais lento e onde existe entrada e saída da via.

Quando, em vias de mais de duas faixas o movimento se processa vagarosamente, existe a tendência de igualar o volume das faixas. A eficiência de uma via de duas faixas é aumentada consideravelmente com adição de uma terceira faixa.

Com a diminuição do nível de serviço e, conseqüentemente, aumentos de volumes, esse efeito tende a diminuir. As distribuições em aclives podem mudar, pois os caminhões permanecem na faixa 1 e seu equivalente em veículos de passageiros cresce notadamente. Os volumes de serviço a uma dada velocidade, em uma via de várias faixas, tendem a diminuir também quando o controle de acesso não existe ou é parcial e os veículos entram livremente em ambos os lados da via. Nessas condições, as faixas 1 e da esquerda ficam igualmente afetadas pela turbulência causada pela entrada ou pela saída de veículos. Na faixa ou faixas intermediárias irá passar o maior volume de tráfego. Apesar de a distribuição nas faixas ser um fator importante, não é necessário fazer qualquer correção, pois sua influência já foi considerada nos procedimentos básicos empregados, desde que os valores usados de volume por faixa sejam a média dos volumes das faixas.

Variações do Fluxo de Tráfego

A variação do tráfego durante a hora de pico, também tem efeitos definidos sobre as características operacionais de uma via e influenciam a capacidade que pode ser verificada na prática.

Todas as influências são expressas em termos de fator de pico horário, que é a razão do volume que ocorre durante a hora de pico, pela máxima razão de fluxo ocorrido durante um período de tempo dado, dentro da hora de pico.

Para vias expressas essa razão é baseada no máximo ocorrido em 5 minutos, dentro da hora (volume que passa em cinco minutos em seção considerada).

O fator de pico horário é determinado, dividindo-se o volume de hora de pico por 12 vezes o volume dos 5 minutos.

Interrupções do Tráfego

Toda a apresentação até agora feita, foi considerando fluxo contínuo, mas quando alguma coisa é construída na via que, de uma ou outra maneira força o tráfego a parar, isso irá afetar de alguma forma os níveis de serviço. Para níveis de serviços baixos, devem-se proporcionar faixas adicionais de tráfego para compensar o tempo de utilização, reduzindo do número de faixas normais. Uma regra básica para a determinação da nova capacidade da via, para fluxo interrompido, é que a nova capacidade será 75% da capacidade da via ideal.

2.4.3 — Aplicação dos Fatores de Ajuste

A capacidade e os volumes de serviços, para as condições ideais, nunca correspondem aos valores obtidos para vias específicas. Exceções se fazem apenas para vias cujos alinhamentos sejam satisfatoriamente ideais, onde seja proibido o tráfego de caminhões.

Nos problemas reais para o cálculo ou para a verificação dos volumes de serviço e capacidade, os valores ideais devem ser ajustados através dos fatores de ajustes apresentados nas tabelas. Foram eles obtidos empiricamente, para diversos tipos de vias.

Apresentamos aqui estes fatores, apenas para os seguintes tipos de vias:

- vias expressas (Rodovia dos Imigrantes);
- vias de múltiplas faixas tipo rural (ex. Rodovia Castelo Branco, Presidente Dutra, Anchieta e Arhangüera).
- vias de duas faixas de tráfego — tipo rural (ex: Rodovia Washington Luiz).

2.4.4 — Cálculos de Capacidade e Volumes de Serviços Para Fluxos Ininterruptos

O método para os cálculos básicos, envolvendo capacidade e volumes de serviço que caracterizam o tráfego de uma via expressa ou outras classes de vias nas quais ocorre fluxo ininterrupto, pode ser processado da seguinte maneira:

a) Capacidade

É determinada diretamente, conforme as condições da via, através do método de fluxo ininterrupto ou seja:

$$C = 2.000 \text{ NL Fc,}$$

onde:

- C = capacidade (veículos mistos por hora em um sentido);
- N = número de faixas (em um sentido);
- L = fator de ajuste da largura da faixa e obstrução lateral; e
- Fc = fator de ajuste para caminhões na capacidade. O efeito de ônibus interurbanos pode ser considerado separadamente.

b) Volumes de Serviço

Computado diretamente da capacidade

O volume de serviço é dado de acordo com os níveis de serviço. Nas Tabelas 14, 20 e 26 temos as relações do $\frac{V}{C}$, isto é, volume sobre capacidade, para os níveis de serviços e velocidade de operação.

O volume de serviço de um determinado nível é dado por:

$$VS = 2.000 \text{ N } \frac{V}{C} \text{ L Fc,}$$

onde:

VS = volume de serviço (total de uma direção);

N = número de faixas (uma direção);

$\frac{V}{C}$ = volume sobre capacidade;

L = fator de ajuste da largura de faixa e obstrução lateral;

Fc = fator de ajuste para caminhões para um dado nível de serviço; e

Fo = fator de ajuste para ônibus.

Calculado pelo Máximo Volume de Serviço, sob Condições Ideais

$$VS = (MVS) Fc,$$

onde:

L, VS, Fc são os mesmos do item anterior e (MVS) é o máximo volume de serviço desejado, obtido das Tabelas 18 ou 23.

"Esse método deve ser utilizado com cuidado, pois não é aplicado quando existem restrições para a velocidade de operações pois não usa a razão V/C que tem restrições de velocidade incorporadas."

A Partir da Capacidade, Conforme as Condições da Via

É dado pela fórmula:

$$VS = C \frac{V}{C} \frac{Fc}{Fo}$$

onde todos os fatores foram definidos anteriormente.

c) Determinação dos Níveis de Serviço Limites

Quando se projeta uma nova via, pode-se estabelecer o nível de serviço desejado (determinado através das Tabelas 14, 20 ou 26), e a partir dele qual o número em veículos de passageiros que irá trafegar na via.

Quando a velocidade média da via é menor que 112km/h, isto é, o alinhamento ou outras condições não são ideais, pode-se determinar a capacidade e volume de serviço para um determinado limite de V/C.

d) Cálculo do Nível de Serviço

A determinação do nível de serviço de uma via a ser projetada, que, sob a condição de fluxo contínuo que irá acomodar uma dada demanda, pode ser efetuada aproximadamente pela simples inspeção das Tabelas 14, 20 ou 26, desde que a velocidade média de projeto, o fator de pico horário FPH e a velocidade de operação sejam conhecidos.

O cálculo mais refinado, considerando caminhões e características de pico é feito através dos seguintes passos:

Determinação do volume básico

Volume básico = 2.000 NL, Fc

que é estimado, pois, para determiná-lo precisamente devemos conhecer Fc do nível de serviço correspondente.

Dividir a demanda pelo volume básico encontrado (não é necessário transformar a demanda em veículos de passageiros equivalentes).

Com auxílio das Tabelas 14, 18 ou 26 podem-se determinar o nível de serviço e a velocidade de operação.

Nova determinação, utilizando-se resultado revisto do Fator de Ajuste para caminhões, e do FPH, se os valores assumidos anteriormente se revelarem incorretos.

TABELAS

GRUPO 1

VIA EXPRESSA

TABELA 9

Efeito Combinado de Largura da Faixa e Obstrução Lateral, Restrito à Capacidade e Volume de Serviço Para Vias Expressas, Fluxo Ininterrupto

DISTÂNCIA DA BORDA DO PAVIMENTO A OBSTRUÇÃO (M)	FATOR DE OBSTRUÇÃO DE UM LADO DE PISTA				AJUSTE, OBSTRUÇÃO DE AMBOS LADOS DA PISTA			
	3,60m	3,30m	3,00m	2,70m	3,60m	3,30m	3,00m	2,70m

(a) VIA EXPRESSA DE 4 FAIXAS, EM UM SENTIDO

1,8	1,00	0,97	0,91	0,81	1,00	0,97	0,91	0,81	VIAS DE
1,2	0,99	0,96	0,90	0,80	0,93	0,95	0,89	0,79	4 FAIXAS
0,6	0,97	0,94	0,88	0,79	0,94	0,91	0,76	0,76	DIVIDIDAS
0,0	0,90	0,87	0,82	0,73	0,81	0,79	0,74	0,66	

VIA EXPRESSA DE 6 A 8 FAIXAS, EM UM SENTIDO

1,8	1,00	0,96	0,89	0,78	1,00	0,96	0,89	0,78	VIAS DE 6
1,2	0,99	0,95	0,88	0,77	0,98	0,94	0,87	0,77	A 8 FAIXAS
0,6	0,97	0,93	0,87	0,76	0,95	0,92	0,85	0,75	DIVIDIDAS
0,0	0,94	0,91	0,85	0,74	0,91	0,87	0,81	0,70	

TABELA 10

Equivalentes em Carros de Passageiros Para Ônibus e Caminhões, ou Vias Expressas, Secção de Grande Extensão (Incluindo Greides e Subsecções em Nível)

Nível de Serviço	Equivalente, E, para Terreno em			
	Nível	Ondulado	Montanhoso	
A	Muito variável, um ou mais caminhões têm o mesmo efeito total, usar equivalentes de outros níveis.			
B a E	Ec (para Caminhão)	2	4	8
	Eo (para Ônibus*)	1,6	3	5

* Considerações em separado se fazem necessárias somente quando os volumes de ônibus são significativos

Fonte: HCM, 1965

TABELA 11

Fatores Médios de Ajustes para Caminhões ou Ônibus em Vias Expressas, Seções de Grande Extensão

Porcentagem de Caminhões, P _e	Fator F _e , para Todos os Níveis de Serviço		
	Terreno em Nível	Terreno Ondulado	Terreno Montanhoso
1	0,99	0,97	0,93
2	0,98	0,94	0,88
3	0,97	0,92	0,83
4	0,96	0,89	0,78
5	0,95	0,87	0,74
6	0,94	0,85	0,70
7	0,93	0,83	0,67
8	0,93	0,81	0,64
9	0,92	0,79	0,61
10	0,91	0,77	0,59
12	0,89	0,74	0,54
14	0,88	0,70	0,51
16	0,86	0,68	0,47
18	0,85	0,65	0,44
20	0,83	0,63	0,42

Fonte: HCM, 1965

TABELA 12

Equivalentes em Carros de Passageiros Para Caminhões, em Vias Expressas, Para Subseções ou Greides Específicos:

GREIDE (%)	COMPRIMENTO DO GREIDE (km)	EQUIVALENTES EM CARROS DE PASSAGEIROS, E _c									
		NÍVEIS DE SERVIÇOS DE A a C					NÍVEIS DE SERVIÇO D e E (CAPACIDADE)				
		3%	5%	10%	15%	20%	3%	5%	10%	15%	20%
0-1	qualquer	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0,4 - 0,8	5	4	4	3	3	5	4	4	4	3
	1,2 - 1,6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	2,4 - 3,2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	4,2 - 6,4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0,4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3
	0,8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1,2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1,6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2,4	10	9	7	7	7	10	9	7	7	7
	3,2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
	4,8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6,4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11
4	0,4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0,8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1,2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1,6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2,4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3,2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	4,8	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
	6,4	12	13	15	15	14	13	14	16	16	15
5	0,4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0,8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
	1,2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1,6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2,4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3,2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
	4,8	13	15	16	16	15	14	17	17	17	17
	6,4	15	17	19	19	17	16	19	22	21	19
6	0,4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0,8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1,2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1,6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11
	2,4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14
	3,2	14	15	16	16	15	15	18	18	16	
	4,8	14	16	18	18	17	15	20	30	20	19
	6,4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23

Essa tabela é válida para vias expressas para subseções ou greides específicos.
Fonte: HCM, 1965

80 TABELA 13
Fatores de Ajuste Para Caminhões ou Ônibus em Subseções ou Greides Específicos em Vias Expressas

EQUIVALENTE EM CARROS DE PASSAGEIROS Ec ou Eo	FATOR DE AJUSTE Fc ou Fo																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,69	0,67	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	
3	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31
4	0,97	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22
5	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,69	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17
6	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13
7	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
8	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09
9	0,93	0,86	0,81	0,76	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07
10	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05
11	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03
12	0,90	0,82	0,75	0,69	0,65	0,60	0,57	0,53	0,50	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01
13	0,89	0,81	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00
14	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00
15	0,88	0,78	0,70	0,64	0,59	0,54	0,51	0,47	0,44	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00
16	0,87	0,77	0,69	0,63	0,57	0,53	0,49	0,45	0,43	0,40	0,38	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00
17	0,86	0,76	0,68	0,61	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
18	0,85	0,75	0,66	0,60	0,54	0,49	0,46	0,42	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,85	0,74	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
20	0,84	0,72	0,64	0,57	0,51	0,47	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,83	0,74	0,63	0,56	0,50	0,45	0,41	0,38	0,36	0,33	0,30	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,83	0,70	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,82	0,69	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,81	0,68	0,59	0,52	0,47	0,42	0,38	0,35	0,33	0,30	0,29	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,80	0,67	0,58	0,51	0,46	0,41	0,37	0,34	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: HCM, 1965

TABELA 14 — Níveis de Serviços e Máximos Volumes de Serviço para Vias Expressas sob Condições de Fluxo Ininterrupto

Nível de Serviço	Condições de Fluxo de Tráfego		Relação do volume de serviço e capacidade (v/c)				Volume de serviço máximo nas condições ideais, incluindo velocidade diretriz da rodovia de 112km/h (total de carros de passageiros·h num sentido)												
	Descrição	Velocidade de operação (a) (km/h)	Valor limite básico para velocidade diretriz da rodovia de 112 km/h		Valor aproximado do trabalho para qualquer número de faixas para velocidade diretriz de:		Auto-estradas de 4 faixas (2 faixas num sentido)			Auto-estradas de 6 faixas (3 faixas num sentido)			Auto-estradas de 8 faixas (4 faixas num sentido)			Por faixa adicional acima de 4, num sentido			
			Auto-estradas de 4 faixas (2 faixas num sentido)	Auto-estradas de 6 faixas (3 faixas num sentido)	Auto-estradas de 8 faixas (4 faixas num sentido)	96 km/h	80 km/h	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)		
A	Fluxo livre	≥ 96	≤ 0,35	≤ 0,40	≤ 0,48	— (b)	— (b)	1.400	2.400	3.400	1.000								
B	Fluxo estável (gama + alta de velocidade)	≥ 88	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,63	≤ 0,25	— (b)	2.000	3.500	5.000	1.500								
Fator de Pico Horário (FPH) ^(c)																			
C	Fluxo estável	> 80 (FPH)	< 0,75xFPH	< 0,80xFPH	< 0,83xFPH	≥ 0,45xFPH	— (b)	0,77	0,83	0,91	1,00	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
D	Aproximando-se do fluxo instável	≥ 54	≤ 0,90 x FPH			< 0,80xFPH		2.300	2.500	2.750	3.000	3.700	4.000	4.350	4.000	5.100	5.500	6.000	6.800
E	Fluxo instável	40 - 56 ^(e)				< 0,80xFPH		2.800	3.000	3.300	3.600	4.150	4.500	4.900	5.400	5.600	6.000	6.600	7.200
F	Fluxo forçado	48 ^(e)				≤ 1,00		4.000 ^(e)	6.000 ^(e)	8.000 ^(e)	2.000 ^(e)								

Largamente variável (de 0 à capacidade)

- a — A velocidade de operação e a relação v/c são medidas independentes do nível de serviço; ambos os limites devem ser satisfeitos em qualquer determinação do nível;
- b — A velocidade de operação requerida para este nível não é atingível, mesmo a baixos volumes;
- c — O fator de pico horário para auto-estradas é a razão entre o volume numa hora completa e a taxa de fluxo horário mais elevado que ocorrer durante um intervalo de 5 minutos dentro de uma pontia;
- d — Raramente é atingido um fator de 1,00; os valores aqui indicados devem ser considerados como as máximas taxas de fluxo horários médios a obter-se provavelmente durante o intervalo de pico de 5 minutos dentro da hora do pico;
- e — Aproximadamente;
- f — Capacidade.

Fonte: HCM, 1963

TABELAS
GRUPO 2
VIAS DE MULTIPLAS FAIXAS

TABELA 15

Efeito Combinado da Largura da Faixa e Obstrução Lateral Restrita à Capacidade e Volume de Serviço para Vias de Múltiplas Faixas, Fluxo Ininterrupto

	Fator de Ajuste para a Capacidade, Largura da Faixa e Nível de Serviço							
	3,60m	3,30m	3,00m	2,70m	3,60m	3,30m	2,00m	2,70m
Distância da Obstrução à borda do pavimento (m)	Obstrução somente do lado direito da pista							
	Obstrução de ambos os lados da pista, uma direção*							
	1,8	1,00	0,95	0,97	0,77	N.A.**	N.A.	N.A.
	1,2	0,98	0,94	0,88	0,76	N.A.	N.A.	N.A.
Vias de 4 faixas	0,6	0,95	0,92	0,86	0,75	0,94	0,91	0,86
	0,0	0,88	0,85	0,80	0,70	0,81	0,79	0,66
	1,8	1,00	0,95	0,89	0,77	N.A.	N.A.	N.A.
	1,0	0,99	0,94	0,88	0,76	N.A.	N.A.	N.A.
Vias de 6 faixas	0,6	0,97	0,93	0,86	0,75	0,96	0,92	0,85
	0,0	0,94	0,90	0,83	0,72	0,91	0,87	0,81
	1,8	1,00	0,95	0,89	0,77	N.A.	N.A.	N.A.
	1,0	0,99	0,94	0,88	0,76	N.A.	N.A.	N.A.

* Somente aplicável quando as pistas são momentaneamente divididas por canteiro central, pilares ds pontes etc.

** N.A. — Não aplicável. Use o fator para o lado direito apenas. Neste caso, o efeito da obstrução é menor que o efeito de atrito entre as correntes de tráfego opostas.

Fonte: HCM, 1965

TABELA 16

Equivalentes em Carros de Passageiros Para Caminhões e Ônibus em Vias de Faixas Múltiplas, Seções de Grande Extensão (Incluindo Greides e Subseções em Nível)

NÍVEL DE SERVIÇO	EQUIVALENTE PARA		
	Terreno em Nível	Terreno Ondulado	Terreno Montanhoso
A	Muito variável. Use em problema o equivalente para os níveis restantes		
B e E	E _c Para Caminhões		
	2	4	8
	E _b Para Ônibus		
	1,6	3	7

TABELA 17

Fatores Médios de Ajuste Para Caminhões em Vias Comuns de Faixas Múltiplas, Seções de Grande Extensão

Porcentagem P _r	FATOR F _r PARA TODOS OS NÍVEIS DE SERVIÇO		
	Terreno em Nível	Terreno Ondulado	Terreno Montanhoso
1	0,99	0,97	0,93
2	0,98	0,94	0,88
3	0,97	0,92	0,83
4	0,96	0,89	0,78
5	0,95	0,87	0,74
6	0,94	0,85	0,70
7	0,93	0,83	0,67
8	0,93	0,81	0,64
9	0,92	0,79	0,61
10	0,91	0,77	0,59
12	0,89	0,74	0,54
14	0,88	0,70	0,51
16	0,86	0,68	0,47
18	0,85	0,65	0,44
20	0,83	0,63	0,42

Fonte: HCM, 1965

TABELA 18

Equivalentes em Carros de Passageiros, Para Caminhões, em Vias de Múltiplas Faixas, Para Subseções ou Greides Específicas

Greide %	Comprimento do Greide (Km)	EQUIVALENTE EM CARROS DE PASSAGEIROS, E _c									
		Níveis de Serviço A a C					Níveis de Serviço D e E (Capacidade)				
		3% CAM	5% CAM	10% CAM	15% CAM	20% CAM	3% CAM	5% CAM	10% CAM	15% CAM	20% CAM
0-1	Qualquer	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0,4-0,8	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3
	1,2-1,6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	2,4-3,2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	4,8-6,4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0,4	10	8	3	4	3	10	8	5	4	3
	0,8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1,2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1,6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2,4	10	9	7	7	7	10	9	7	7	7
	3,2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
	4,8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6,4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11
4	0,4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0,8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1,2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1,6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2,4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3,2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	4,8	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
	6,4	12	13	15	15	14	13	14	16	16	15
5	0,4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0,8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
	1,2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1,6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2,4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3,2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
	4,8	13	15	16	16	15	14	17	17	17	17
	6,4	15	17	19	19	17	16	19	22	21	19
6	0,4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0,8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1,2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1,6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11
	2,4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14
	3,2	14	15	16	16	15	15	18	18	18	16
	4,8	14	16	18	18	17	15	20	20	20	19
	6,4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23

Essa tabela é válida para vias expressas para subseções ou greides específicos
Fonte: HCM, 1965

TABELA 19
Fatores de Ajustes para Caminhões, em Vias de Múltiplas Faixas Para Subseções ou Greides Específicas

EQUIVALENTE EM CARROS DE PASSAGEIROS Ec ou Eo	FATOR DE AJUSTE Fc ou Fo																			
	PORCENTAGEM DE CAMINHÕES Pc ou ONIBUS Po																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20					
2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83					
3	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71					
4	0,97	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,74	0,70	0,68	0,65	0,63					
5	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,64	0,61	0,56					
6	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50					
7	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74	0,70	0,68	0,65	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45					
8	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,54	0,47	0,44	0,42	0,42					
9	0,93	0,86	0,81	0,76	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38					
10	0,92	0,86	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36					
11	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,56	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33					
12	0,90	0,82	0,75	0,69	0,65	0,60	0,57	0,53	0,50	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34	0,31					
13	0,89	0,81	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,41	0,37	0,34	0,32	0,29					
14	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28					
15	0,88	0,78	0,70	0,64	0,59	0,54	0,51	0,47	0,44	0,42	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26					
16	0,87	0,77	0,69	0,63	0,57	0,53	0,49	0,45	0,43	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25					
17	0,86	0,76	0,68	0,61	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24					
18	0,85	0,75	0,66	0,60	0,54	0,49	0,46	0,42	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23					
19	0,85	0,74	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,32	0,28	0,26	0,24	0,22					
20	0,84	0,72	0,64	0,57	0,51	0,47	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21					
21	0,83	0,74	0,63	0,56	0,50	0,45	0,41	0,38	0,36	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20					
22	0,83	0,70	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40	0,37	0,35	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19					
23	0,82	0,69	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20	0,19					
24	0,81	0,68	0,59	0,52	0,47	0,42	0,38	0,35	0,33	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18					
25	0,80	0,67	0,58	0,51	0,46	0,41	0,37	0,34	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17					

Fonte: HCM, 1965.

TABELAS
GRUPO 3
VIAS DE DUAS FAIXAS

TABELA 20
Níveis de Serviços e Máximos Volumes de Serviços Para Vias de Múltiplas Faixas sob Condições de Fluxo Ininterrupto

Caracterização	Condições de tráfego	Velocidade de operação a (km/h)	Volume de serviço/capacidade, relação (V/C)		Velocidade de projeto restrito a	Máximo volume de serviço sob condições ideais, inclusive 112 km/h para velocidade de projeto. (Total em veículos de passageiros em um sentido)	
			96 km/h	90 km/h		4 faixas do alinhamento principal (2 em um sentido)	6 faixas do alinhamento principal (3 em um sentido)
A Fluxo livre	≥ 96	≥ 96	- b	- b	1 200	1 800	6,00
B Fluxo estável (velocidade superior)	≥ 88	≥ 88	$\leq 0,20$	- b	2 000	3 000	1 000
C Fluxo estável	≥ 72	≥ 72	$\leq 0,50$	$\leq 0,25$	3 000	4 500	1 500
D Próximo ao fluxo estável	≥ 56	≥ 56	$\leq 0,85$	$\leq 0,70$	3 600	5 400	1 800
E ^c Fluxo instável	48 ^d	48 ^d	≤ 1	≤ 1	4 000	6 000	2 000
F Fluxo forçado	< 48 ^d	< 48 ^d	Não significativo ^e	Não significativo ^e	Muito variável	Muito variável (O a capacidade)	

a — Velocidade de operação e relação V/C medidas independentemente do nível de serviço; ambos limites devem satisfazer a determinação do nível;

b — Velocidade de operação requerida para este nível não é atingida mesmo a baixos volumes;

c — Capacidade;

d — Aproximadamente; e

e — Volume de demanda/capacidade podem exceder a 1,0, indicando congestionamento.

Fonte: HCM, 1965

TABELA 21

Efeito Combinado da Largura de Faixa e Obstrução Lateral Restrito à Capacidade e Volume de Serviço em Vias de Duas Faixas, Fluxo Ininterrupto

Ajustes para a Capacidade (Nível E) e (Nível B).
Interpolar para os restantes.

Distância Obstrução à borda do pavimento (m)	Obstrução de um só lado						Obstrução de ambos os lados *													
	3.60m		3.30m		3.00m		2.70m		3.60m		3.30m		3.00m		2.70m					
	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E	Nível B	Nível E				
1,8	1,00	0,86	0,88	0,81	0,70	0,76	1,00	0,86	0,88	0,77	0,81	0,70	0,76	1,00	0,86	0,88	0,77	0,81	0,70	0,76
1,2	0,96	0,83	0,85	0,74	0,68	0,74	0,92	0,79	0,86	0,71	0,76	0,68	0,74	0,94	0,79	0,86	0,71	0,76	0,65	0,71
0,6	0,91	0,78	0,81	0,70	0,64	0,70	0,81	0,75	0,81	0,69	0,75	0,64	0,70	0,85	0,70	0,75	0,63	0,69	0,57	0,65
0,0	0,85	0,73	0,77	0,66	0,60	0,66	0,70	0,71	0,60	0,66	0,70	0,60	0,66	0,76	0,60	0,67	0,54	0,62	0,49	0,58

* Inclui a permissão de tráfego oposto

Fonte: HCM, 1965

TABELA 22

Equivalente aos Carros de Passageiros Para Caminhões ou Ônibus, em Vias de Duas Faixas, Seção de Grande Extensão (Incluindo Greides e Subseções em Nível.)

Equivalente	Nível de Serviço	Equivalente Para		
		Terreno em Nível	Terreno Ondulado	Terreno Montanhoso
E., Para Caminhões	A	3	4	7
	B e C	2.5	5	10
	D e E	2	5	12
E., Para Ônibus*	Todos os níveis	2	4	6

* Consideração em separado é necessária apenas quando os volumes de ônibus são significativos.
 [carro de passageiro] = [automóvel]

Fonte: HCM, 1965

TABELA 23

Fatores Médios de Ajuste para Caminhões ou Ônibus em Vias de Duas Faixas, Seções de Grande Extensão

Porcentagem de Caminhões P_c	FATOR DE AJUSTE PARA CAMINHÕES, F_c								
	Terreno em Nível			Terreno Ondulado			Terreno Montanhoso		
	A	B e C	D e E	A	B e C	D e E	A	B e C	D e E
1	0,98	0,99	0,99	0,97	0,96	0,96	0,94	0,92	0,90
2	0,96	0,97	0,98	0,94	0,93	0,93	0,89	0,85	0,82
3	0,94	0,96	0,97	0,92	0,89	0,89	0,85	0,79	0,75
4	0,93	0,95	0,96	0,89	0,86	0,86	0,81	0,74	0,69
5	0,91	0,93	0,95	0,87	0,83	0,83	0,77	0,69	0,65
6	0,89	0,92	0,94	0,85	0,81	0,81	0,74	0,65	0,60
7	0,88	0,91	0,93	0,83	0,78	0,78	0,70	0,61	0,57
8	0,86	0,90	0,93	0,81	0,76	0,76	0,68	0,58	0,53
9	0,85	0,89	0,92	0,79	0,74	0,74	0,65	0,55	0,50
10	0,83	0,87	0,91	0,77	0,71	0,71	0,63	0,53	0,48
12	0,81	0,85	0,89	0,74	0,68	0,68	0,58	0,48	0,43
14	0,78	0,83	0,88	0,70	0,64	0,64	0,54	0,44	0,39
16	0,76	0,81	0,86	0,68	0,61	0,61	0,51	0,41	0,36
18	0,74	0,80	0,85	0,65	0,58	0,58	0,48	0,38	0,34
20	0,71	0,77	0,83	0,63	0,56	0,56	0,45	0,36	0,31

Fonte: HCM, 1965

A Fig. 22 mostra a variação do fator equivalência em termos de passageiros para caminhões, de acordo com a variação da velocidade média dos caminhões que sobem um greide particular em uma via de duas faixas. Foi preparada através do método de distribuição separada das velocidades.

TABELA 24
 Equivalentes em Carros de Passageiros Para Caminhões, em Vias
 de Duas Faixas Para Subseções ou Greides Específicos

Greide %	Comprimento do Greide em RM	EC (para qualquer porcentagem de caminhões)		
		Níveis de Serviços A e B	Nível de Serviço G	Níveis de Serviços D e E (Capacidade)
0-2	Todos	2	2	2
3	0,4	5	3	2
	0,8	10	10	7
	1,2	14	16	14
	1,6	17	21	20
	2,4	19	25	26
	3,2	21	27	29
	4,8	22	29	31
	6,4	23	31	32
4	0,4	7	6	3
	0,8	16	20	20
	1,2	22	30	32
	1,6	26	35	39
	2,4	28	39	44
	3,2	30	42	47
	4,8	31	44	50
	6,4	32	46	52
5	0,4	10	10	7
	0,8	24	33	37
	1,2	29	42	47
	1,6	33	47	54
	2,4	35	51	59
	3,2	37	54	63
	4,8	39	56	66
	6,4	40	57	68
6	0,4	14	17	16
	0,8	33	47	54
	1,2	39	56	65
	1,6	41	59	70
	2,4	44	62	75
	3,2	46	65	80
	4,8	48	68	84
	6,4	50	71	87
7	0,4	24	32	35
	0,8	44	63	75
	1,2	50	71	84
	1,6	53	74	90
	2,4	56	79	95
	3,2	58	82	100
	4,8	60	85	104
	6,4	62	87	108

TABELA 25

Fatores de Ajuste para Caminhões, em Vias de Duas Faixas
para Subseções a Greides Específicos

Equivalentes em Carros de Passageiros	FATOR DE AJUSTAMENTO FC														
	PERCENTAGEM DE CAMINHÕES — PC														
	EC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,89	0,83
3	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71
4	0,97	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,74	0,70	0,68	0,65	0,63
5	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56
6	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50
7	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74	0,70	0,68	0,65	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45
8	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,54	0,51	0,47	0,44	0,42
9	0,93	0,86	0,81	0,76	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38
10	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	0,48	0,44	0,41	0,37	0,36
11	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33
12	0,90	0,82	0,75	0,69	0,65	0,60	0,57	0,53	0,50	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34	0,31
13	0,89	0,81	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,41	0,37	0,34	0,32	0,29
14	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28
15	0,88	0,78	0,70	0,64	0,59	0,54	0,51	0,47	0,44	0,42	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26
16	0,87	0,77	0,69	0,63	0,57	0,53	0,49	0,45	0,43	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25
17	0,86	0,76	0,68	0,61	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24
18	0,85	0,75	0,66	0,60	0,54	0,49	0,46	0,42	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23
19	0,85	0,74	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,32	0,28	0,26	0,24	0,22
20	0,84	0,72	0,64	0,57	0,51	0,47	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21
22	0,83	0,70	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40	0,37	0,35	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19
24	0,81	0,68	0,59	0,52	0,47	0,42	0,38	0,35	0,33	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
26	0,80	0,67	0,57	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,31	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
28	0,79	0,65	0,55	0,48	0,43	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
30	0,78	0,63	0,53	0,46	0,41	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15
35	0,75	0,60	0,49	0,42	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13
40	0,72	0,56	0,46	0,39	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11
45	0,69	0,53	0,43	0,36	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
50	0,67	0,51	0,40	0,34	0,29	0,25	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09
55	0,65	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
60	0,63	0,46	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
65	0,61	0,44	0,34	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
70	0,59	0,42	0,33	0,27	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
75	0,57	0,40	0,31	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
80	0,56	0,39	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06
90	0,53	0,36	0,27	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05
100	0,50	0,34	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05

TABELA 26
Níveis de Serviços e Máximos Volumes de Serviços Para Vias de Duas Faixas, sob Condições de Fluxos Ininterruptos

Nível de serviço	Condições de tráfego		% da distância de ultrapassagem maior que 450m	Para o limite básico da velocidade de projeto de 112 km/h	Relações de Volume/capacidade (v/c)						Máximos volumes de serviços ideais (VP=112km/h Total em veículos de passageiros em ambos sentidos/hora)
	Descrição	Velocidade de operação (km/h)			Restrições da velocidade média de projeto p/ o nível de serviço considerado						
A Fluxo Livre	85	100	0,20	95km/h	80km/h	70km/h	65km/h	55km/h	400		
			0,18								
			0,15								
			0,12								
			0,08								
B Fluxo estável	80	100	0,45	0,40					900		
			0,42	0,35							
			0,38	0,30							
			0,34	0,24							
			0,30	0,18							
C Fluxo estável	70	100	0,70	0,66	0,56	0,51			1 400		
			0,68	0,61	0,53	0,46					
			0,65	0,56	0,47	0,41					
			0,62	0,51	0,38	0,32					
			0,59	0,45	0,28	0,22					
D Fluxo próximo do instável	50	100	0,85	0,83	0,75	0,67	0,58		1 700		
			0,84	0,81	0,72	0,62	0,55				
			0,83	0,79	0,69	0,57	0,51				
			0,82	0,76	0,66	0,52	0,45				
			0,81	0,71	0,61	0,44	0,35				
E Fluxo instável	50	não se aplica	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2 000		
F Forçado	50	não se aplica							multo variável (0 a capacidade)		

3

cálculo da capacidade
e volumes de serviço
para fluxo interrompido

3.1 — CÁLCULO DA CAPACIDADE E NIVEIS DE SERVIÇO DAS INTERSEÇÕES EM NÍVEL*

3.1.1 — Introdução

Trata, o presente trabalho, da tradução e adaptação do capítulo das interseções em nível do **Capacity Manual** do Highway Research Board. São aqui apresentados os processos específicos para o cálculo da capacidade e dos volumes de serviço para uma grande variedade de condições de interseção, como também para estimativa do nível de serviço quando a demanda for conhecida.

Deve-se ressaltar que "veículos por hora verde" é a unidade básica usada para expressar a capacidade e os volumes de serviço de um acesso sinalizado. Dado o volume por hora de tempo verde, aplicando-se a este volume a fração do tempo de ciclo total em que o sinal está verde para um dado movimento, pode-se calcular o número de veículos que pode atravessar a interseção daquele acesso durante uma hora.

Deve-se também ressaltar que a capacidade da interseção, tal como a capacidade de fluxo ininterrupto, não é uma determinação precisa. Uma ampla variação de volumes observados sob tráfego pesado foi levantada em condições físicas aparentemente análogas.

* Tradução e adaptação do texto, "Cálculo da Capacidade e Níveis de Serviço para Fluxo Interrompido", por Ion de Freitas, HCM.

Os processos que se seguem fornecem melhor estimativa geral da capacidade e volume de serviço das interseções, possível de ser desenvolvida atualmente. No entanto, não se pode exigir uma concordância total entre os valores observados e os cálculos em todos os casos.

Devem-se usar fatores de correção para calcular os volumes de serviço e a capacidade de um acesso sob determinadas condições de operação, de acordo com gráficos e tabelas em anexo.

3.1.2 — Cálculo dos Volumes Básicos

1) — Interseções Urbanas

As Figs. de 23 a 28 e as tabelas anexas permitem uma determinação preliminar dos volumes de serviço e capacidade na base de hora verde, dados a largura dos acessos, o fator de carga, o fator de pico horário, a população da área metropolitana e a localização dentro da área metropolitana.

Essas figuras foram preparadas para representar diversos casos, a saber: — três casos de estacionamento em rua de mão única e dois casos de estacionamento em ruas de mão dupla. Os volumes básicos podem ser assim representados:

$$V_b = F(L, FC) \times FP \times FA \times FL,$$

onde:

$F(L, FC)$ = Volume da aproximação por hora verde em função da largura de aproximação (L) e do fator de carga (FC), para os seguintes casos:

Fig. 23 = Interseção urbana, mão única, sem estacionamento.

Fig. 24 = Interseção urbana, mão única, estacionamento de um lado.

Fig. 24 = Interseção urbana, mão única, estacionamento de ambos os lados.

Fig. 26 = Interseção urbana, duas mãos, sem estacionamento.

Fig. 27 = Interseção urbana, duas mãos, com estacionamento.

Fig. 28 = Interseção rural, duas mãos, sem estacionamento.

FP = Fator de ajuste da população e FPH.

FA = Fator de ajuste para o tipo de área.

FL = Fator de ajuste para o local.

Deve ser bem entendido que estas figuras não dão a resposta final, mesmo quando se aplicam os fatores de ajustes contidos nas respectivas tabelas. O valor do volume, quando lido diretamente, pode ser utilizado em cálculos comparativos preliminares, mas para se ter a solução definitiva do problema, devem-se aplicar os ajustes tabelados, além de outros que serão descritos mais adiante.

Este valor, sendo expresso em termos de veículos por hora verde, deve sempre ser multiplicado pelo quociente t_v/t_c (tempo verde/tempo de ciclo) do acesso em questão, a fim de estabelecer a capacidade real por hora de sinalização.

A largura de acesso usada nessas figuras é a largura total do pavimento do acesso, incluindo todas as faixas de estacionamento, mas excluindo quaisquer faixas separadas para conversão à esquerda ou à direita, sejam elas dotadas de fases separadas de sinalização ou não. Onde tais faixas forem usadas, a largura do acesso adotada para as determinações de capacidade nos gráficos, deve ser a largura total do acesso menos a largura das referidas faixas de conversão. A capacidade do acesso é então aplicada para levar em consideração o efeito dessas faixas.

O volume carreado, em veículos por hora verde, representa uma condição média no que se refere a fatores de tráfego. Especificamente, representa 10% de conversões à direita, 5% de caminhões e ônibus interurbanos e sem ônibus locais.

As curvas nas Figs. de 23 a 28 estabelecem o relacionamento entre a largura de acesso e o número de veículos por hora verde para os diversos fatores de carga possíveis. Essas curvas são baseadas nos seguintes valores selecionados: fator de pico horário igual a 0,85 (valor médio), população da área metropolitana de 250.000 e localização no centro comercial da cidade. Não se fez nenhuma suposição quanto ao valor médio do fator de carga e só ocasionalmente o local em estudo se adaptará em tudo às outras condições assumidas. Conseqüentemente, deve-se sempre escolher um fator de carga para se adaptarem os critérios às condições reais do local em estudo.

Para outros valores do fator de pico horário e/ou população da área metropolitana e para classificação de localizações que não sejam o centro comercial da cidade, as tabelas incorporadas a cada gráfico dão os fatores de ajuste pelos quais o volume obtido do gráfico deve ser multiplicado.

A escolha do fator de carga depende principalmente do nível de serviço desejado na interseção.

Para volume de serviço abaixo da capacidade, os valores limites da Tabela I podem ser usados quando não forem disponíveis fatores mais específicos.

Não se considera prático o uso de um fator de carga igual a 1,00, exceto nos casos pouco comuns onde a carga real for contínua durante toda a hora. Na maioria dos casos, uma capacidade baseada num fator 1,00 seria impossível na prática. Recomendam-se estudos locais para estabelecer os valores apropriados para comunidade específicas. Tais estudos podem até indicar um fator inferior a 0,7. Neste caso, o fator para Nível-D deverá ser um tanto reduzido. Em não havendo tais estudos, no entanto, recomenda-se a adoção de um fator de 0,85 no Nível-E para interseções isoladas. Onde existir uma sinalização progressiva de alta eficiência, pode ser apropriado um fator de 0,95 a 1,00.

Novamente, na ausência de tais estudos, é considerado adequado um fator de carga igual 0,3 representando o Nível-C.

A determinação do fator pico horário também deve ser feita. Quando os dados locais não forem disponíveis devem-se usar fatores estimados, como segue:

- 1) onde houver, normalmente, longas filas de veículos esperando ou onde elas forem previstas em interseções importantes ao longo das ruas principais da área, um fator de pico horário de 0,90 a 0,95 pode ser usado (um fator de pico horário de 1,00 deve ser usado só nos casos onde uma demanda praticamente constante existir durante toda a hora);
- 2) onde se espera que um acesso vá carrear altos volumes pela maior parte de uma hora, um fator de pico horário de 0,85 é uma estimativa razoável. Este valor é também uma medida razoável a ser usada na ausência de qualquer conhecimento a respeito das condições do local em estudo; e
- 3) quando ocorrer um alto índice de fluxo por um período curto de tempo, deve-se considerar um fator de 0,60 a 0,70. Deve-se lembrar que uma capacidade baseada no fator de carga e/ou fator de pico horário da ordem de 0,7 está bem abaixo das capacidades físicas do acesso, assim como a capacidade real de uma via expressa que tem um fator de pico horário baixo, é inferior à sua capacidade física. Em ambos os casos o resultado obtido é o tráfego máximo que se pode acomodar razoavelmente sob as condições existentes.

Para os fins de ajuste do desempenho da interseção, em função de sua localização na área metropolitana, são considerados os seguintes tipos de áreas características:

- a) **Área Central (AC)** — É a parte de uma cidade na qual o uso predominante da área é de intensa atividade comercial. Esta área é caracterizada por grande número de pedestres, veículos comerciais carregados de bens ou pessoas, uma elevada demanda de áreas de estacionamento e elevada freqüência de veículos que estacionam;
- b) **Área Intermediária (AI)** — A área de uma cidade situada imediatamente externa à área central, onde há uma grande variedade de tipos de atividades comerciais, geralmente incluindo atividades comerciais pequenas, de indústrias leves, de armazenamento, de serviço de automóveis, assim como de algumas áreas residenciais, concentradas. A maior parte do tráfego nesta área compreende viagens que não têm origem nem destino na área.

Esta área caracteriza-se por um tráfego de pedestres moderado e uma freqüência mais baixa de veículos que estacionam, do que a que aparece na área central, mas pode incluir grandes áreas de estacionamento, servindo aquele distrito;

- c) **Área Comercial de Bairro (ACB)** — A área de uma cidade ou sob a influência de uma cidade, normalmente separada geograficamente por uma certa distância da área central e sua respectiva faixa intermediária, onde o principal uso da terra é destinado a atividades comerciais.

Esta área tem sua própria circulação de tráfego local que se soma aos movimentos diretos que vão e vêm da área central, uma demanda relativamente alta de estacionamento e um tráfego de pedestres moderado; e

- d) **Área Residencial (AR)** — A parte da cidade onde o uso do solo é predominado por edificações residenciais pode incluir também pequenas áreas comerciais. Esta área é caracterizada por poucos pedestres e uma freqüência moderada de veículos que estacionam.

O método de uso das Figs. de 23 a 28 é bastante simples, uma vez que todas as condições locais tenham sido estabelecidas.

No caso básico de uma dada largura de acesso, com volume requerido, entra-se com esta largura no eixo horizontal e projeta-se uma linha vertical até a curva de fator de carga apropriado. Deste ponto lança-se uma linha horizontal até o eixo vertical e o valor do volume assim obtido é ajustado conforme o necessário, por meio de fatores apropriados às condições do local tirados das tabelas em anexo.

II) Interseções Rurais

A Fig. 28 dá a possibilidade de calcular um acesso de interseção rural, sendo que as condições supostas incluem a ausência de estacionamento na pista e um fator de pico horário de 0,70. Quando a interseção rural for numa via recreacional ou outra via livre de elementos urbanos de fricções típicas, mas sujeita a uma demanda ocasional crítica por período de várias horas (FPH igual ou próximo a 1,00), produzindo um congestionamento longo e contínuo de veículos, a operação poderá aproximar-se de um máximo de 1.500 veículos equivalentes por hora verde e por faixa.

Os volumes lidos na figura deverão ser multiplicados por 1,4 dentro destas condições.

3.1.3 — Fator de Ajuste Global

Para a obtenção da capacidade e níveis de serviço das interseções, outros fatores deverão ainda ser considerados e incidirão sobre o volume básico.

Pode-se exprimir o valor da capacidade ou dos máximos volumes de serviço da seguinte forma:

$$MVS_n = V_b \times FG,$$

onde:

MVS_n = Máximo Volume de Serviço Nível n.; e

FG = Fator Global.

Onde:

$$FG = \frac{t_v}{t_c} \times C_e \times C_d \times VC \times OL;$$

t_v = tempo da fase verde;

t_c = tempo do ciclo total;

C_e = fator de Conversão à esquerda;

C_d = fator de Conversão à direita;

VC = fator Veículos Comerciais; e

OL = fator ônibus Locais.

Relação t_v/t_c

O quociente t_v/t_c é a razão entre o tempo de sinal verde e o tempo de ciclo total. Seu uso é obrigatório em todos os problemas que envolvem tráfego direto num acesso de interseção sinalizada, já que somente em casos especiais (tais como uma faixa de conversão com seta contínua) poderá ocorrer 100% de tempo verde.

Como já foi mencionado, o tempo verde representa somente o tempo de passagem, não incluindo o tempo amarelo — independentemente do tempo amarelo aparecer sozinho (como deve) ou junto com o verde — não obstante reconhecer-se que uma pequena porção do fluxo mover-se-á durante este período.

Quando uma interseção completa estiver sendo analisada, deve-se tomar cuidado para assegurar que não ocorram sobreposições não intencionais de tempo.

Por exemplo, uma vez que o t_v/t_c necessário de um acesso seja determinado, o tempo da rua que cruza não pode ser considerado como sendo uma simples diferença dos 100%, visto que se deve levar em consideração o tempo amarelo. Para simplificar, normalmente adota-se 10% do tempo total para tempo amarelo, 5% em cada rua, o que normalmente é satisfatório durante os cálculos preliminares referentes a interseções simples de quatro ramos. Quando o ciclo estiver finalmente estabelecido, os intervalos amarelos reais devem, é claro, ser usados. Recomenda-se, normalmente, adotar um intervalo amarelo de três segundos. Nos casos em que for necessária uma transição maior, tal como em interseções muito longas, deverá ser proporcionado um período de tempo todo vermelho.

Movimento de conversão

a) Sem Fase Própria Para Conversão

Ajuste para porcentagens de movimento de conversão feitos em acessos simples sem faixas de conversão especiais ou indicação de sinal para conversões, refletindo os vários efeitos anteriormente discutidos, são dados na Tabela 27, que serve principalmente para conversões à direita, mas é também aplicável às conversões à esquerda de ruas de mão única e na Tabela 26, estão apresentados os fatores de conversões à esquerda para ruas de mão dupla.

Deve-se notar que o ajuste varia, dependendo da largura da rua e da existência ou não de estacionamento:

b) Com Faixa e Fase Própria Para Conversão

O processo que se segue presume: que nenhum tráfego direto use as faixas adicionais; que pedestres sejam controlados de modo a não interferir de maneira significativa e que nos casos de faixas para conversões à direita, sejam providas de raios adequados. Sob estas condições, o processo é igualmente válido para faixas adicionais.

O processo consiste nos seguintes passos:

- 1) subtrair a largura da faixa reservada para conversão da largura total do acesso. Calcular o volume de serviço da largura remanescente pelo método básico para acessos de interseções, com 0% de movimento de conversão; e
- 2) considerar cada faixa de conversão especial como tendo os seguintes volumes de serviço por 3,00m de largura.

Nível	Veículos por Hora Verde	Veículos Comerciais (%)
A,B,C,	800	5
D	1 000	5
E (capacidade)	1 200	5

Onde duas ou mais faixas forem disponíveis para comportar um determinado movimento, a cada faixa adicional deverá ser atribuído um volume de serviço de 0,8 vezes os valores acima. Aplicar o valor t_v/t_c adequado e ajustar para veículos comerciais por meio dos fatores da Tabela 25; e

- 3) somar os volumes de serviço calculados nos passos 1 e 2 para se obter o volume total do acesso.

Nota: Este cálculo dá a capacidade física do local, quando são conhecidos os dados de cronometragem dos sinais. No entanto, em muitas aplicações típicas, o quociente tv/tc não é conhecido com antecedência. Nesse caso, dados os volumes e distribuição do tráfego (frente, esquerda e direita), dos veículos no acesso, o processo invertido deve ser aplicado para determinar a quantidade de tempo verde exigida nas faixas de conversão.

c) Com Faixa e sem Fase Própria de Conversão

Devem-se seguir os passos abaixo:

- 1) subtrair a largura da faixa ou faixas reservadas da largura total do acesso;

Calcular o volume de serviço da largura remanescente por meio dos processos básicos para acessos de interseções com 0% de movimento de conversões;

- 2) para uma faixa de conversão à direita: para qualquer nível use $600 \times tv/tc$ por hora, pressupondo 5% de caminhões, se as conversões devem ser feitas junto com a travessia dos pedestres.

Se os pedestres não estiverem presentes, use os valores dados para o caso b. Em qualquer caso, faça o ajuste para veículos comerciais por meio da Tabela 25. Para uma faixa de conversão à esquerda: para qualquer nível, considere o volume de serviço em carros passageiros, como a diferença entre 1.200 veículos e o volume de tráfego total oponente em termos de carros passageiros por hora de verde, mas não menos do que dois veículos por ciclo de sinalização; e

- 3) some os volumes de serviço computados nos passos 1 e 2, para se obter o volume de serviço do acesso.

d) Sem Faixa e com Fase Própria de Conversão

Esta situação se dá quando determinados movimentos de conversão são permitidos por tempos diferentes do tempo de fase básico para tráfego direto, por meio de indicações de seta verde, embora não existam faixas reservadas para estes movimentos. É também encontrada onde fluxos em duas direções opostas numa determinada rua não têm períodos verdes totalmente simultâneos. Uma solução desse tipo seria a defasagem progressiva ou regressiva da indicação verde, a qual permitiria conversões livres do efeito do tráfego oponente, durante uma parte do tempo.

Embora não se disponha de faixas separadas, a intenção geralmente é de permitir movimentos de conversão. Os seguintes passos devem ser adotados para cálculo do volume de serviço do acesso:

- 1) onde houver tráfego oponente, aplicar o processo básico de cálculo da capacidade da interseção a toda a largura do acesso, para cada tipo de combinação diferente de sinais;

- 2) onde não houver tráfego de oposição para conversão à esquerda calcule os volumes pelos métodos básicos, mas considere as conversões à esquerda como conversões em ruas de mão única; e
- 3) junte os resultados dos vários passos para obter o volume de serviço do acesso.

Estas alternativas presumem que a probabilidade dos veículos diretos ficarem "presos" atrás de um veículo que intenciona fazer conversões dentro de um dado intervalo não é maior do que seria no intervalo normal de sinalização dotado das mesmas características. Esta suposição não é sempre válida. Por exemplo, se as conversões à esquerda forem permitidas somente durante o tempo verde adiantado, e não através do tráfego oponente durante o tempo verde base, a faixa esquerda ficará mais bloqueada do que a suposição geral indicada.

e) Caminhões e Ônibus Diretos

Os veículos por hora verde devem ser, em seguida, ajustados para levar em consideração o efeito de caminhões e ônibus diretos que não façam paradas locais no percurso. As curvas da capacidade básica da interseção representam as condições médias urbanas da hora de pico no que se refere aos volumes de veículos comerciais, que se determinou como sendo 5%. A Tabela 25 dá os fatores de correção para diversas porcentagens de veículos comerciais.

f) Ônibus Locais

Ônibus locais, isto é, aqueles que param para o embarque e desembarque de passageiros em pontos regularmente espaçados ao longo de uma rua, têm uma influência muito maior sobre a capacidade do que os ônibus diretos e caminhões.

Como já foi mencionado anteriormente, sua influência é bastante pronunciada, dependendo do tipo da área, da largura das ruas, das condições de estacionamento, da localização do ponto (aquém, isto é, do lado contíguo da interseção, além, isto é do lado oposto) e do número de ônibus.

As. Figs. de 29 a 32 são nomógrafos que apresentam o efeito de uma variação do volume de ônibus locais, usando paradas de ônibus aquém, ou além, em ruas com e sem estacionamento. Elas fornecem os fatores de ajuste necessários para quase todas as condições encontradas no campo. No entanto, certas condições não estão inteiramente consideradas, como paradas no meio do quarteirão, paradas no meio da rua e paradas que atendam mais de 90 ônibus, em áreas centrais da cidade ou 120 nas outras. Em alguns casos os nomógrafos podem ser adaptados para atender os casos do meio do quarteirão; mas em outras situações as condições especiais que tornam necessária a instalação não usual são tais que se exigirá estudo local detalhado para a fixação das capacidades. Os nomógrafos são, em gran-

de parte, generalizações obtidas a partir de conhecimentos disponíveis limitados.

Os gráficos são usados do seguinte modo:

Dado o número de ônibus por hora, encontra-se o ponto correspondente na escala vertical, na parte de cima à esquerda. Uma linha horizontal é projetada até a linha limite, que representa o tipo apropriado da área, e uma linha vertical é então projetada para baixo, para o número dado de faixas, se conhecido (ou largura do acesso, se os veículos não formarem consistentemente o mesmo número de faixas).

Uma linha horizontal é então desenhada até a última linha limite, representando a porcentagem de movimento de conversões, sendo que, em seguida, o fator de ajuste apropriado é lido na escala de baixo. Como os fatores anteriores, ele é aplicado como um multiplicador.

No caso de paradas aquém da interseção, em ruas que têm estacionamento, exceto nos pontos de ônibus (Fig. 29), o fator de ajuste, em alguns casos, pode ser maior do que 1,0.

Isto reflete a finalidade secundária fornecida pelo ponto, como faixa de conversão para tráfego em movimento, exceto quando ocupada por um ônibus. Nos demais casos, se uma intervenção com os movimentos diagonais de conversão apropriados estiver fora do alcance do gráfico (à direita da borda direita) o fator máximo de 1,00 deverá ser adotado. Também no caso de paradas aquém da interseção, em ruas com estacionamento (Fig. 29), uma série de três famílias de linha limite é apresentada para cobrir várias porcentagens de conversões para acessos de duas, três e quatro faixas separadamente.

Onde somente for conhecida a largura do acesso, a família de linhas limite usada deve ser a correspondente ao número de faixas imediatamente inferior.

Onde as larguras forem maiores do que as mostradas no gráfico, uma extrapolação é permissível, mas uma extrapolação para um número maior de ônibus é duvidosa.

3.1.4 — Procedimento

Os processos básicos apresentados até agora descrevem os cálculos das capacidades e volumes de serviço das interseções, dada a largura do acesso. Eles presumem que, em qualquer problema específico, o nível de serviço desejado é conhecido, assim identificando o fator de carga aplicável que, por sua vez, permite a seleção da curva correta no gráfico apropriado. Isto é o que ocorre em vários estudos operacionais, onde a finalidade é determinar os máximos volumes de serviço para os diferentes níveis de serviço preestabelecidos.

Enquanto o nível de serviço desejado for conhecido, os processos poderão ser usados direta ou indiretamente, sem dificuldades. Isto é, dado um volume de demanda, este volume pode ser transformado em veículos por hora verde, por meio de uma divisão pelos vários

de parte, generalizações obtidas a partir de conhecimentos disponíveis limitados.

Os gráficos são usados do seguinte modo:

Dado o número de ônibus por hora, encontra-se o ponto correspondente na escala vertical, na parte de cima à esquerda. Uma linha horizontal é projetada até a linha limite, que representa o tipo apropriado da área, e uma linha vertical é então projetada para baixo, para o número dado de faixas, se conhecido (ou largura do acesso, se os veículos não formarem consistentemente o mesmo número de faixas).

Uma linha horizontal é então desenhada até a última linha limite, representando a porcentagem de movimento de conversões, sendo que, em seguida, o fator de ajuste apropriado é lido na escala de baixo. Como os fatores anteriores, ele é aplicado como um multiplicador.

No caso de paradas aquém da interseção, em ruas que têm estacionamento, exceto nos pontos de ônibus (Fig. 29), o fator de ajuste, em alguns casos, pode ser maior do que 1,0.

Isto reflete a finalidade secundária fornecida pelo ponto, como faixa de conversão para tráfego em movimento, exceto quando ocupada por um ônibus. Nos demais casos, se uma intervenção com os movimentos diagonais de conversão apropriados estiver fora do alcance do gráfico (à direita da borda direita) o fator máximo de 1,00 deverá ser adotado. Também no caso de paradas aquém da interseção, em ruas com estacionamento (Fig. 29), uma série de três famílias de linha limite é apresentada para cobrir várias porcentagens de conversões para acessos de duas, três e quatro faixas separadamente.

Onde somente for conhecida a largura do acesso, a família de linhas limite usada deve ser a correspondente ao número de faixas imediatamente inferior.

Onde as larguras forem maiores do que as mostradas no gráfico, uma extrapolação é permissível, mas uma extrapolação para um número maior de ônibus é duvidosa.

3.1.4 — Procedimento

Os processos básicos apresentados até agora descrevem os cálculos das capacidades e volumes de serviço das interseções, dada a largura do acesso. Eles presumem que, em qualquer problema específico, o nível de serviço desejado é conhecido, assim identificando o fator de carga aplicável que, por sua vez, permite a seleção da curva correta no gráfico apropriado. Isto é o que ocorre em vários estudos operacionais, onde a finalidade é determinar os máximos volumes de serviço para os diferentes níveis de serviço preestabelecidos.

Enquanto o nível de serviço desejado for conhecido, os processos poderão ser usados direta ou indiretamente, sem dificuldades. Isto é, dado um volume de demanda, este volume pode ser transformado em veículos por hora verde, por meio de uma divisão pelos vários

fatores anteriormente descritos (deve-se tomar cuidado aqui, para assegurar que todos estes fatores, incluídos tanto aqueles referentes aos gráficos, como aqueles discutidos separadamente, sejam considerados). Usando o gráfico apropriado a um fator de carga identificado pelo nível de serviço desejado, a largura exigida pode ser determinada. Este processo é freqüentemente usado no desenvolvimento de novos projetos.

Onde, no entanto, o nível de serviço for a variável desconhecida, cujo valor deve ser determinado, é necessário entrar nas curvas dos gráficos por ambos os eixos. Aqui, tanto o volume da demanda como a largura do acesso devem ser conhecidos ou calculados. O volume da demanda é, então, ajustado aos veículos por hora verde. A interseção das linhas projetadas dos eixos de volume e da largura, identifica o fator de carga previsto, a partir do qual o nível de serviço da interseção pode ser determinado. Este processo é útil nas avaliações de sistemas de vias onde as deficiências estejam sendo identificadas.

Em quase todos os casos, o quociente tv/tc deve ser considerado à parte, porque é ele mesmo uma variável. Como ligação principal entre o acesso em consideração e o funcionamento da interseção como um todo, ele é dependente de condições externas ao acesso específico em estudo. Em problemas operacionais haverá um quociente tv/tc existente que poderá ser usado como base. No entanto, no projeto ou em novos problemas de sinalização, deverá ser adotado um ciclo e uma divisão do ciclo experimentais.

Geralmente, em cálculos preliminares esta divisão é baseada diretamente nos volumes de demanda relativos aos vários ramos e inversamente às larguras disponíveis previstas. No caso simples de duas ruas que se interceptam, os tempos verdes dos acessos são proporcionais e dados pela relação abaixo:

Relação de divisão de tempo =

$$= \frac{\text{tempo no Acesso 1}}{\text{tempo na Acesso 2}} = \frac{\text{Vol. acesso 1}}{\text{Vol. acesso 2}} \times \frac{\text{Largura acesso 2}}{\text{Largura acesso 1}}$$

Conforme a solução vai sendo gradualmente refinada, a largura pode ser substituída pelo tempo verde ou vice-versa, ou pode-se concluir que níveis de serviço equilibrados não são desejáveis em todos os ramos. Cada uma destas considerações influenciará o problema total. Portanto, na prática, a não ser que a relação tv/tc seja rigidamente estabelecida com antecedência, devido a outras considerações (tais como o tempo necessário para os pedestres atravessarem, onde ele exceder o tempo necessário para tráfego de veículos), uma solução definida exige várias tentativas.

Em alguns casos, em locações existentes, o conhecimento das características de tráfego (porcentagem de conversões e de caminhões, e operações de ônibus locais) do local em estudo pode ser escasso. Se os dados existentes dos estudos anteriores forem insuficientes para garantir aproximação razoável destes valores, breves estudos no campo podem ser necessários.

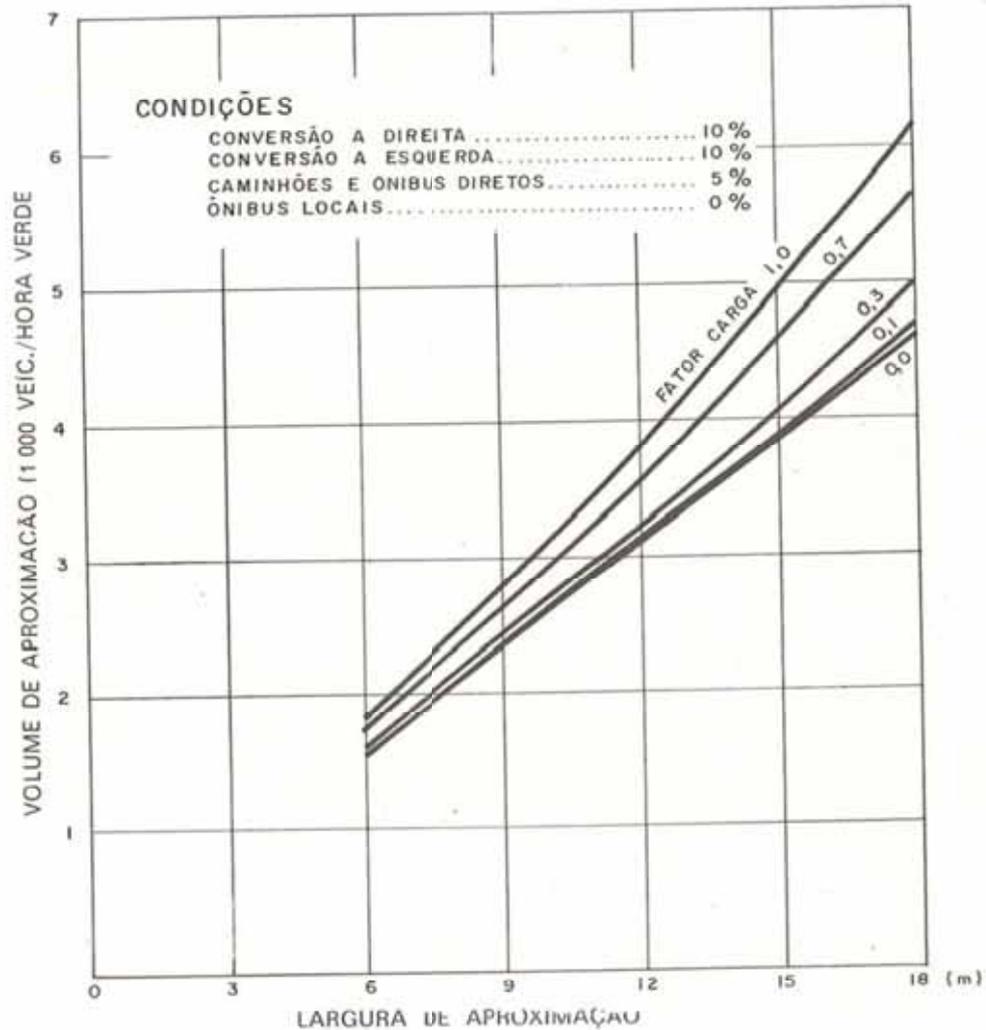


FIG. 23 — INTERSECÇÃO URBANA
 — VIA DE MÃO ÚNICA — SEM ESTACIONAMENTO
 — VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO E POPULAÇÃO

ÁREA METROPOLITANA Pop. (Em milhares)	FATOR DE PICO HORÁRIO (FPH)						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
> 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

AJUSTE PARA A LOCAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA

ÁREA CENTRAL	1,00	ÁREA COMERCIAL BAIRRO ..	1,10
ÁREA INTERMEDIÁRIA	1,10	ÁREA RESIDENCIAL	1,20

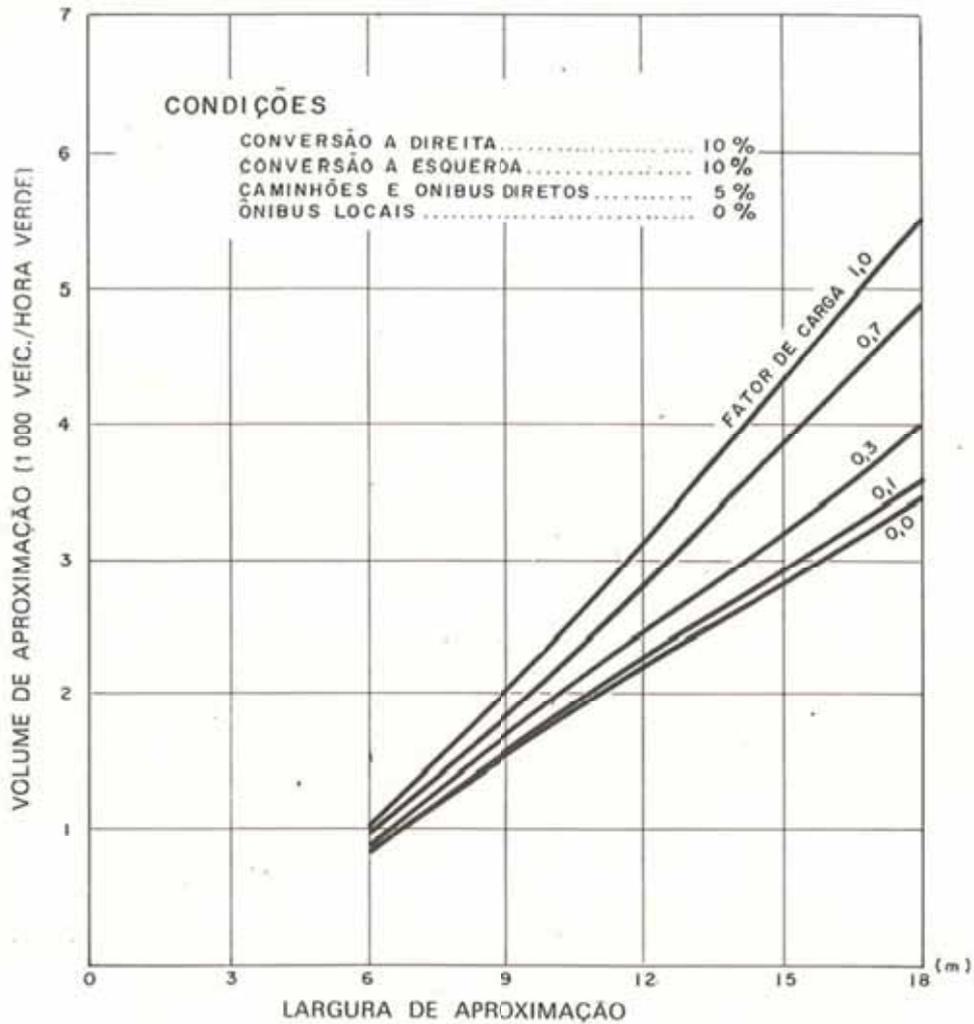


FIG. 24 — INTERSECÇÃO URBANA
 — VIA DE MÃO ÚNICA — ESTACIONAMENTO DE UM LADO
 — VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO E POPULAÇÃO

ÁREA METROPOLITANA Pop. (Em milhares)	FATOR DE PICO HORÁRIO (FPH)						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
> 1 000	0,99	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24	1,29
1 000	0,96	1,01	1,06	1,11	1,17	1,22	1,27
750	0,93	0,99	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24
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	0,79	0,84	0,89	0,94	0,99	1,04	1,09
75	0,76	0,81	0,86	0,91	0,97	1,02	1,07

AJUSTE PARA A LOCAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA

ÁREA CENTRAL	1,00	ÁREA INTERMEDIÁRIA	1,00
ÁREA COMERCIAL BAIRRO ..	1,20	ÁREA RESIDENCIAL	1,20

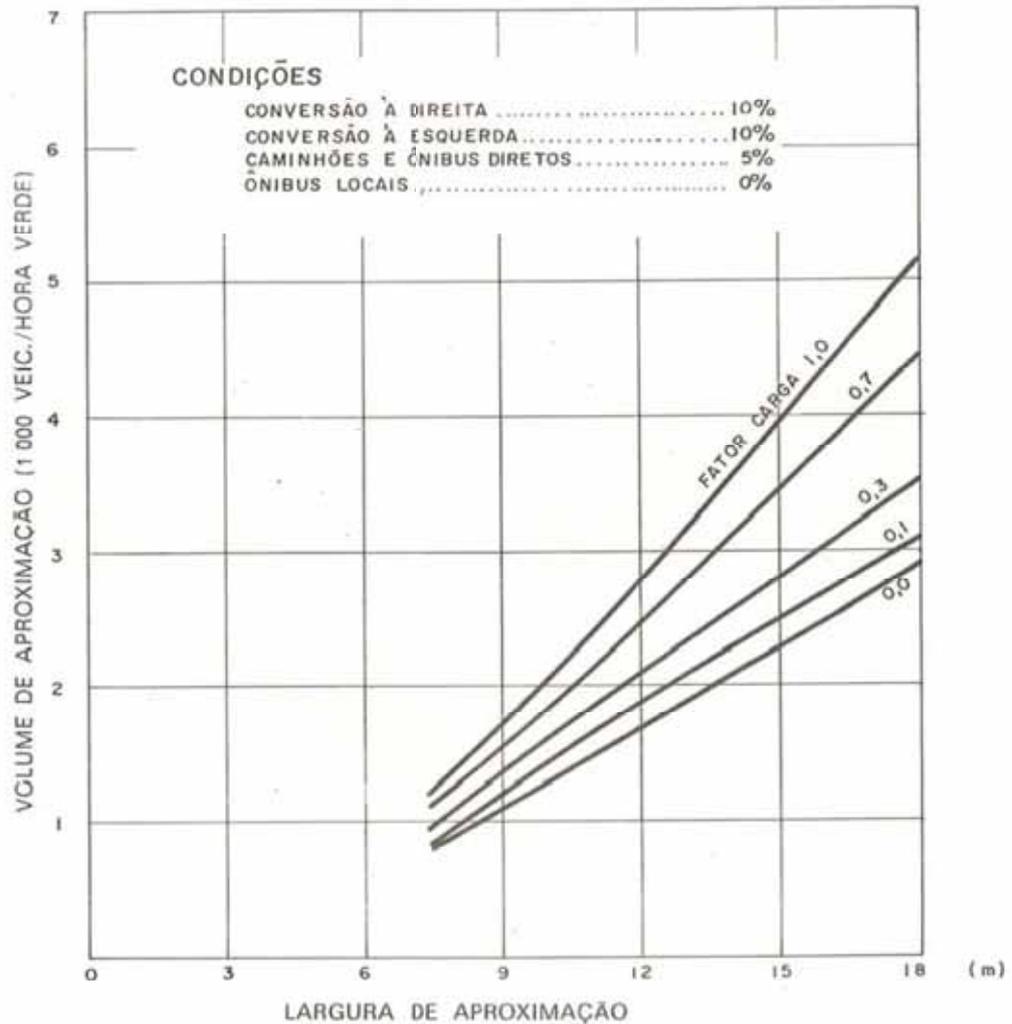


FIG. 25 — INTERSECÇÃO URBANA
 — VIA DE MÃO ÚNICA — ESTACIONAMENTO DE AMBOS OS LADOS
 — VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO E POPULAÇÃO

ÁREA METROPOLITANA Pop. (Em milhares)	FATOR DE PICO HORÁRIO (FPH)						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
> 1 000	1,00	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24	1,20
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	0,07	1,12
100	0,80	0,85	0,89	0,94	0,99	0,04	1,09
75	0,77	0,82	0,87	0,92	0,96	1,01	1,06

AJUSTE PARA A LOCAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA

ÁREA CENTRAL	1,00	ÁREA COMERCIAL BAIRRO ...	1,15
ÁREA INTERMEDIÁRIA	1,00	ÁREA RESIDENCIAL	1,25

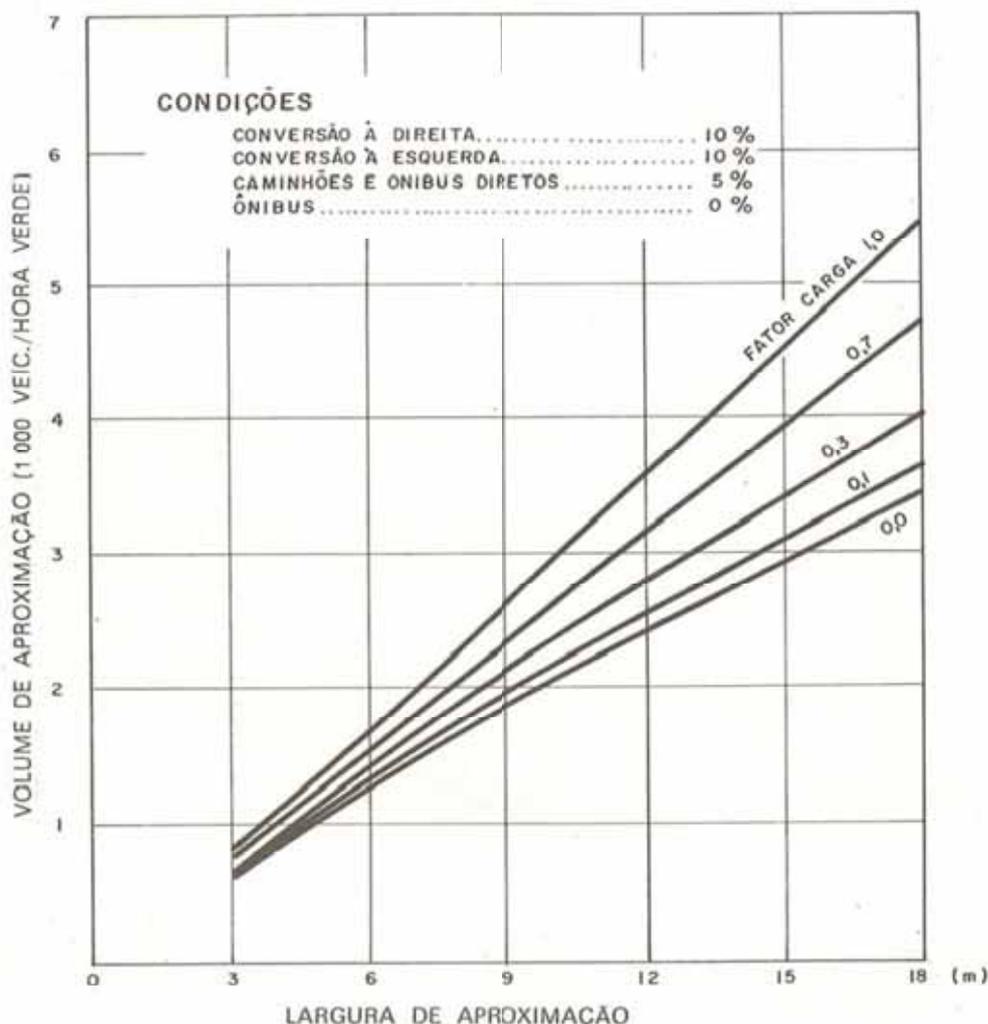


FIG. 26 — INTERSECÇÃO URBANA.
 — VIA DE DUAS MÃOS — SEM ESTACIONAMENTO
 — VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO E POPULAÇÃO

ÁREA METROPOLITANA Pop. (Em milhares)	FATOR DE PICO HORÁRIO (FPH)						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
> 1 000	1,04	1,07	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25
1 000	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	1,06	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

AJUSTE PARA A LOCAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA

ÁREA CENTRAL	1,00	ÁREA COMERCIAL BAIRRO ..	1,25
ÁREA INTERMEDIÁRIA	1,25	ÁREA RESIDENCIAL	1,25

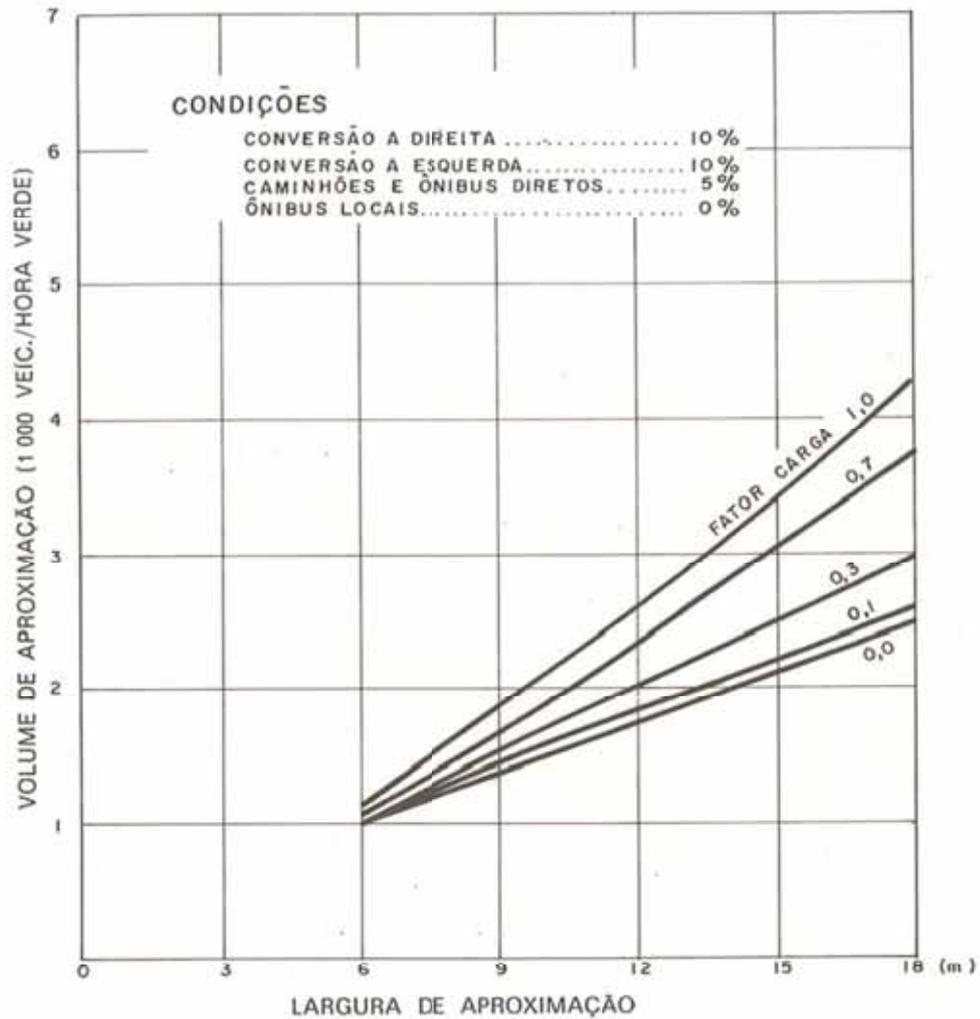


FIG. 27 — INTERSECÇÃO URBANA
— VIA DE DUAS MÃOS — COM ESTACIONAMENTO
— VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO E POPULAÇÃO							
ÁREA METROPOLITANA Pop. (Em milhares)	FATOR DE PICO HORÁRIO (FPH)						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
> 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

AJUSTE PARA A LOCAÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA			
ÁREA CENTRAL	1,00	ÁREA COMERCIAL BAIRRO ..	1,25
ÁREA INTERMEDIÁRIA	1,25	ÁREA RESIDENCIAL	1,25

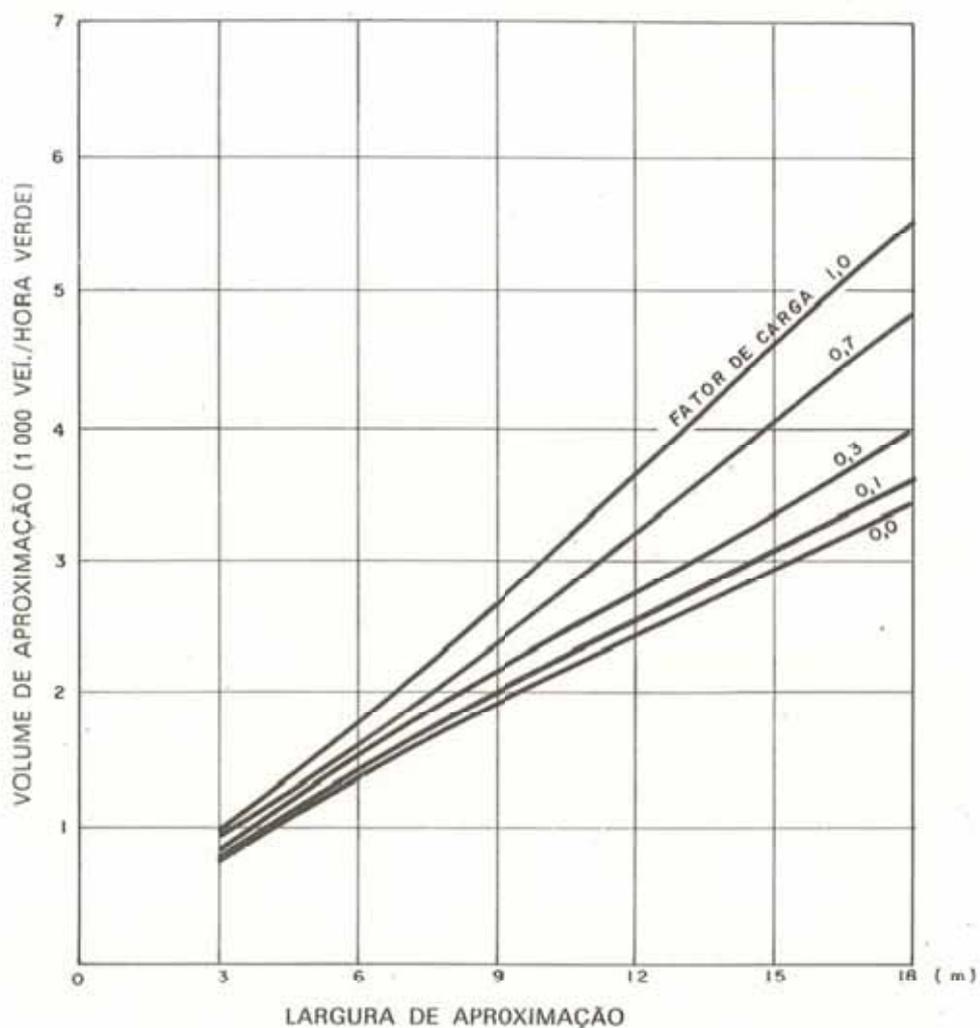


FIG. 28 — INTERSECÇÃO RURAL
 — VIA DE DUAS MÃOS — SEM ESTACIONAMENTO
 — VOLUME DE SERVIÇO POR APROXIMAÇÃO E POR HORA DE SINAL VERDE

AJUSTE PARA O FATOR PICO HORÁRIO

Fator pico horário = 0,70
 (condição rural média)

Fator pico horário = 1,00
 (via recrecional durante hora de pico)

AJUSTE = 1,00

AJUSTE = 1,40

CONDIÇÕES

Conversão à direita	10%
Conversão à esquerda	10%
Caminhões e ônibus diretos	5%

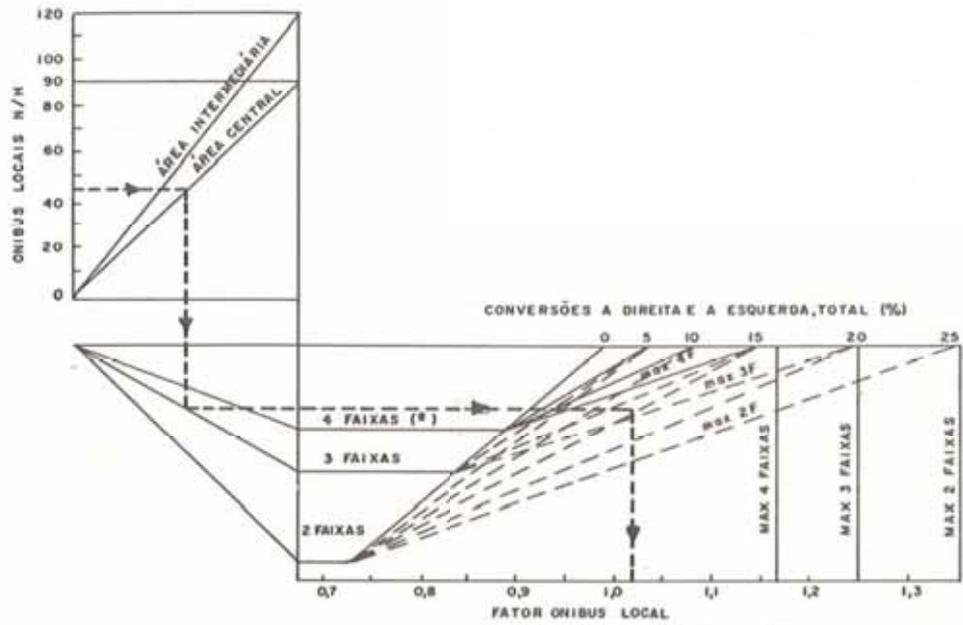


FIG. 29 — FATOR ÔNIBUS LOCAL
RUAS COM ESTACIONAMENTO
PARADA LADO CONTÍGUO

(antes da interseção)

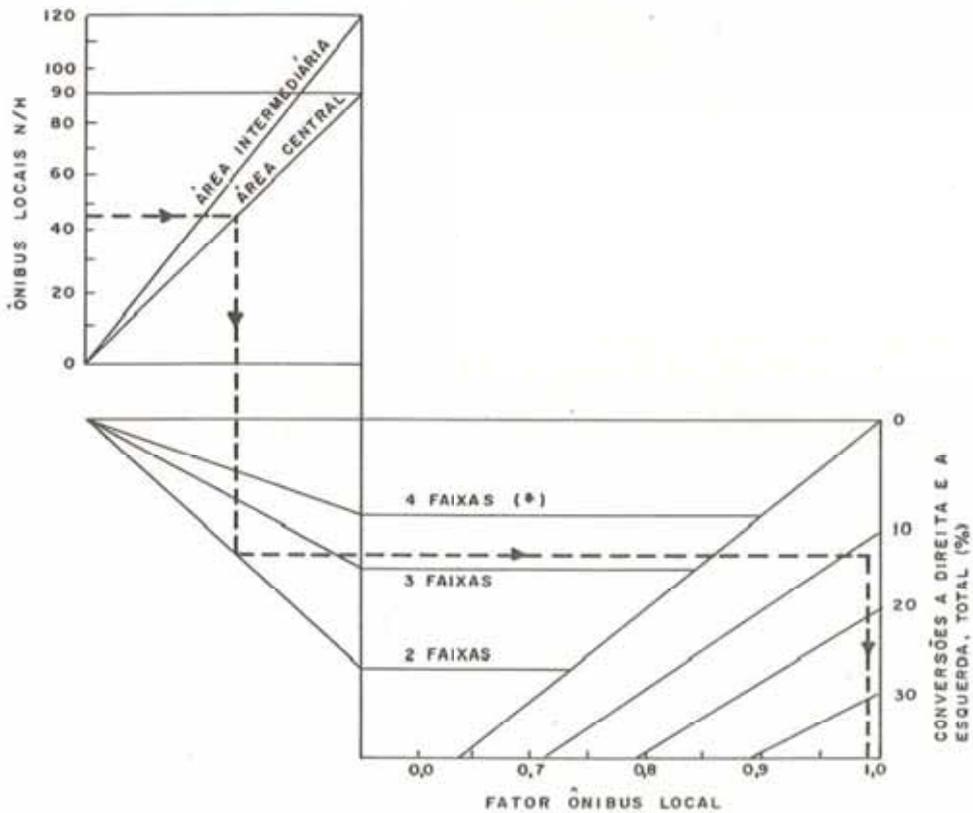


FIG. 30 — FATOR ÔNIBUS LOCAL
RUA COM ESTACIONAMENTO
PARADA LADO OPOSTO

(após a interseção)

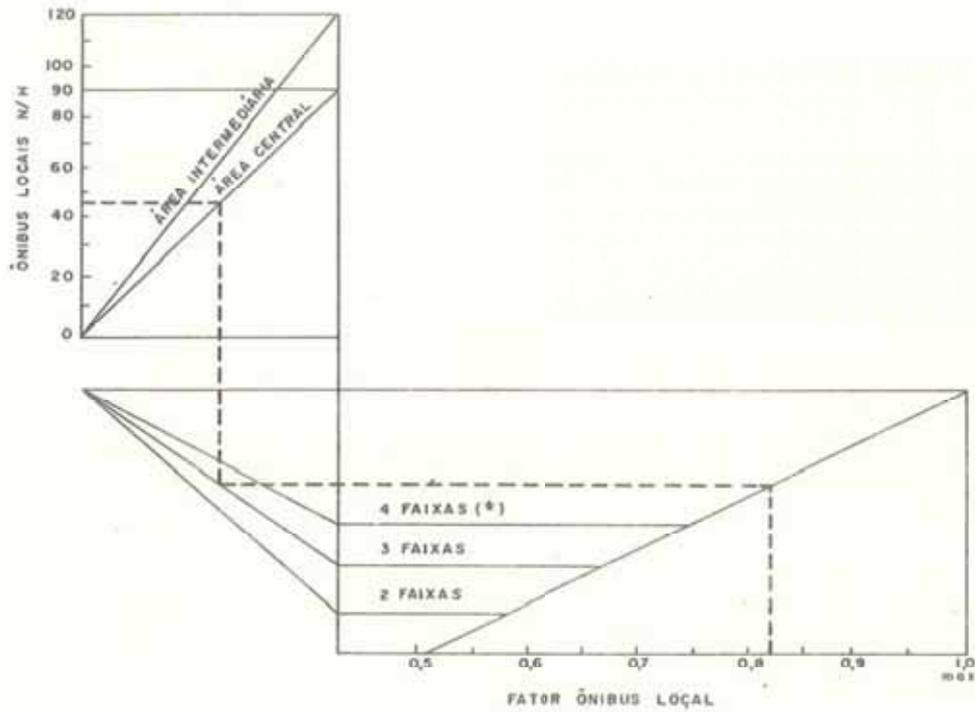


FIG. 31 — FATOR ÔNIBUS LOCAL
RUAS COM ESTACIONAMENTO
PARADA LADO CONTÍGUO

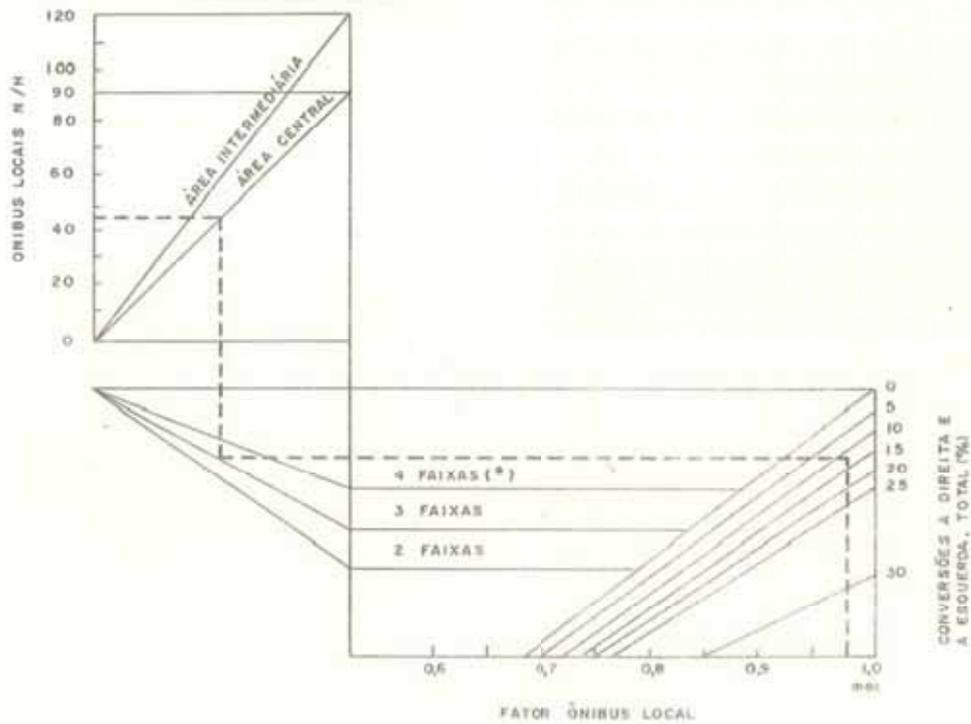


FIG. 32 — FATOR ÔNIBUS LOCAL
RUA COM ESTACIONAMENTO
PARADA LADO OPOSTO

TABELA 24

Níveis de Serviço e Volumes de Serviço para Intersecções Isoladas

NÍVEL DE SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO TRÁNSITO	FATOR DE CARGA
A	Livre	0,0
B	Estável	0,1
C	Estável	0,3
D	Próximo	
	Estável	0,7
E *	Instável	1,00
F	Forçado	—

Capacidade da Intersecção.

TABELA 25

Fatores de Ajuste para Veículos Comerciais e Ônibus Diretos

VEÍCULOS COMERCIAIS (+ ÔNIBUS DIRETOS)	FATORES DE AJUSTE	VEÍCULOS COMERCIAIS (+ ÔNIBUS DIRETOS)	FATORES DE AJUSTE
0	1,05		
1	1,04	11	0,94
2	1,03	12	0,93
3	1,02	13	0,92
4	1,01	14	0,91
5	1,00	15	0,90
6	0,99	16	0,89
7	0,98	17	0,88
8	0,97	18	0,87
9	0,96	19	0,86
10	0,95	20	0,85

TABELA 26

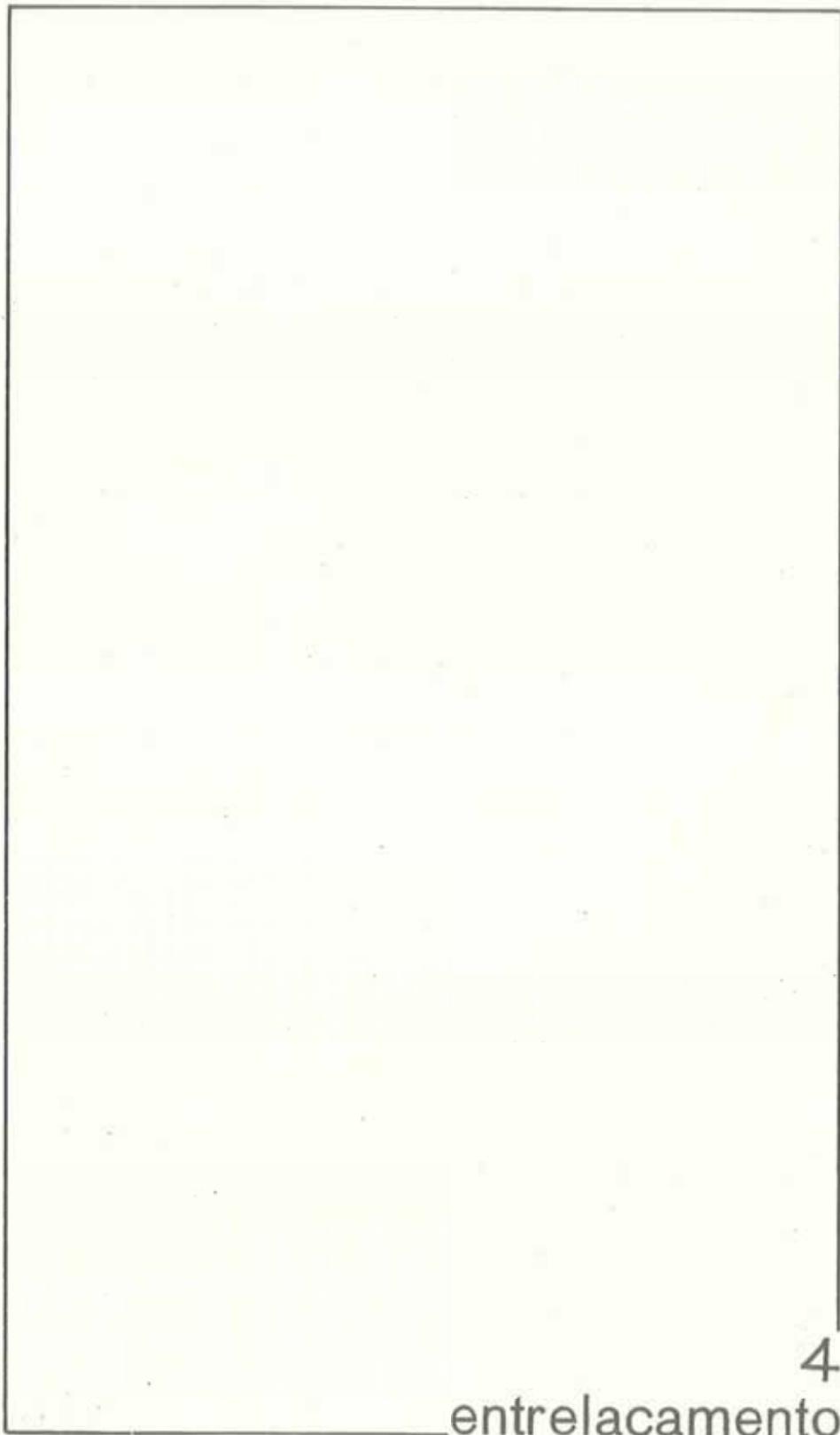
Fatores de Ajuste para Conversões à Esquerda em Vias de Duas Mãos

CONVERSÕES %	FATORES DE AJUSTE					
	COM ESTACIONAMENTO			SEM ESTACIONAMENTO		
	Largura da pista de aproximação			Largura da pista de aproximação		
	< 6,00	de 6,10 a 11,90	> 12,00	< 4,50	de 4,60 a 10,40	> 10,50
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	1,16	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 27

Fatores de Ajuste para as Conversões à Direita nas Vias de Uma e Duas Mãos e Conversões à Esquerda nas Vias de Mão Única

CONVERSÕES %	FATORES DE AJUSTE					
	COM ESTACIONAMENTO			SEM ESTACIONAMENTO		
	Largura da pista de aproximação			Largura da pista de aproximação		
	< 6,00 m	de 6,10 a 3,80	de 8,90 a 12,00	< 4,50 m	de 4,60 a 7,30	de 7,40 a 10,50
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	0,39	0,940	0,980
24	0,88	0,930	0,985	0,83	0,930	0,985
26	0,87	0,920	0,990	0,87	0,920	0,990
28	0,86	0,910	0,995	0,85	0,910	0,995
30 +	0,85	0,900	1,000	0,85	0,900	1,000



4

entrelaçamento

4.1 — INTRODUÇÃO

Em qualquer tipo de via, podem-se distinguir três situações básicas, cada qual com seus próprios aspectos operacionais e capacidade potencial:

- a) seções com fluxo ininterrupto;
- b) interseções em nível, com ou sem controle por semáforos, caracterizadas por fluxo ininterrupto; e
- c) interconexões caracterizadas por fluxos convergente e divergente de tráfego.

Muitas vezes, a combinação destas situações pode provocar no cruzamento correntes de tráfego que se movem numa mesma direção, acompanhado por sucessivos fluxos de convergência e divergência de tráfego, denominado entrelaçamento.

Uma seção de entrelaçamento simples pode ser descrita como um trecho de via com uma mão de direção, acomodando movimento de entrelaçamento.

Na Fig. 33 são ilustrados exemplos de seções de entrelaçamento. O entrelaçamento simples, isto é, aquele verificado onde há uma simples junção e subsequente separação de duas vias é mostrado na Fig. 33a. Interseções em greides separados são ilustrados nas Figs. 33b a 33c; interseções em nível nas Figs. 33d a 33i; e uma combinação de interseções em desnível na Fig. 33j.

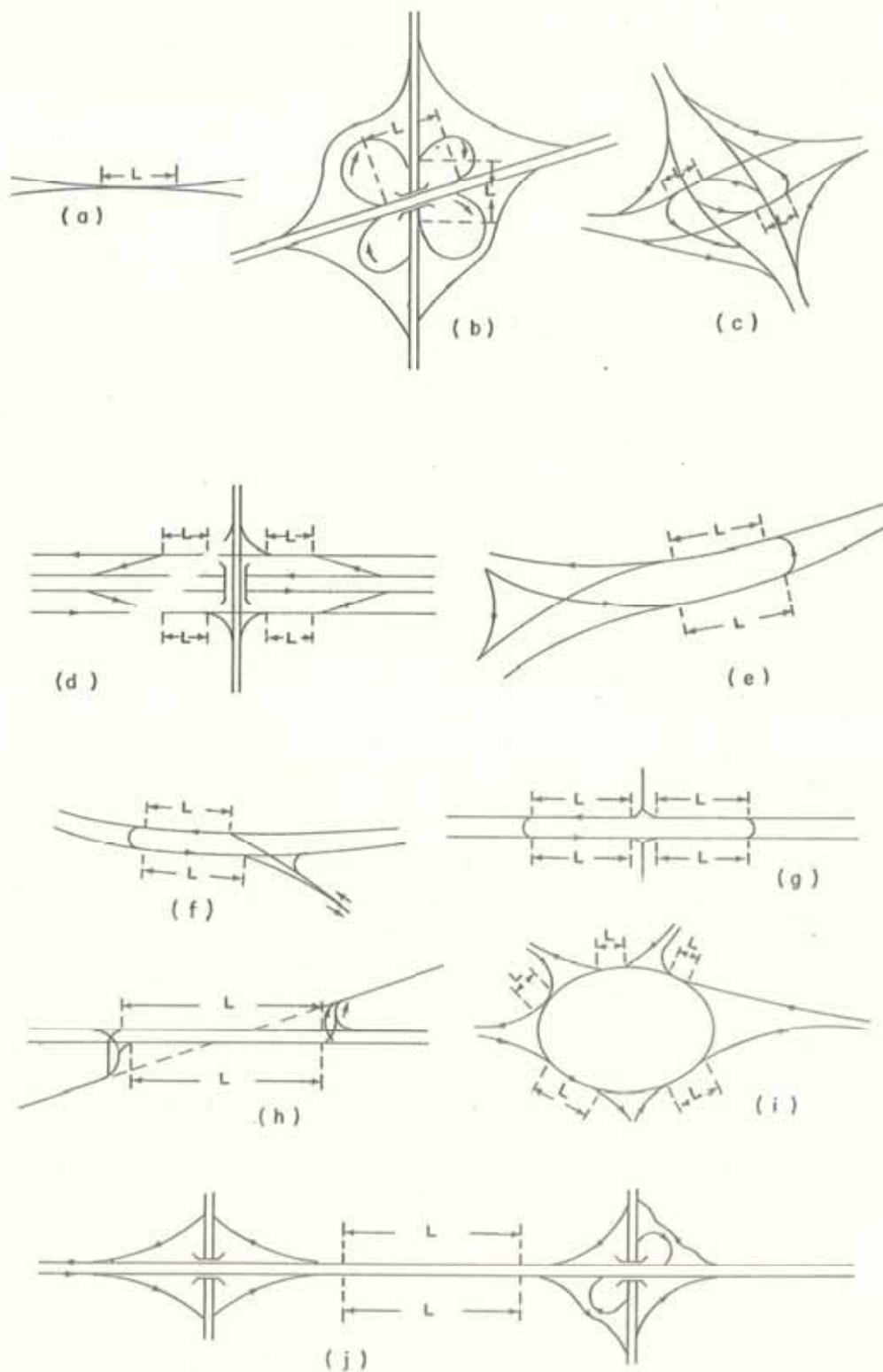


FIG. 33 — FORMAÇÃO DE SEÇÕES DE ENTRELAÇAMENTO

A influência do tráfego que se entrelaça é tanto maior quanto menor a seção de entrelaçamento, quando as interseções estão bem distanciadas, os efeitos de entrelaçamento são praticamente nulos, não ocorrendo mudanças de faixa de modo mais freqüente do que qualquer seção livre de rodovia.

Neste caso, a seção pode ser considerada como operando sob condições de fluxo ininterrupto, sem influência de entrelaçamento.

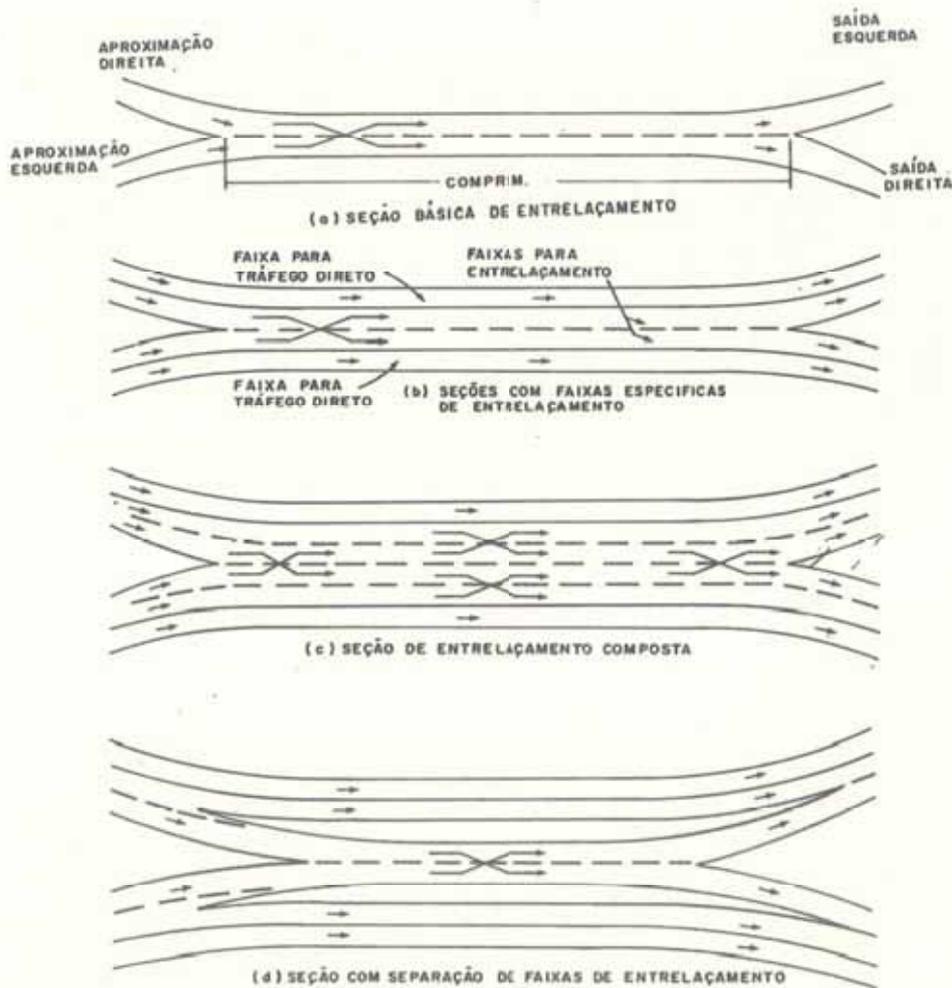


FIG. 34 — SEÇÕES DE ENTRELAÇAMENTO BÁSICO

4.2 — TIPOS DE SEÇÃO DE ENTRELAÇAMENTO

As seções de entrelaçamento podem ser simples ou múltiplas. A primeira envolve um ponto de entrada e um ponto de saída. A segunda acrescenta pontos adicionais de entrada ou saída ou ambos ao mesmo tempo.

As seções de entrelaçamento podem ainda ser classificadas em seções de um ou dois lados.

4.2.1 — Seções de Entrelaçamento Simples

As várias formas de seção de entrelaçamento simples são ilustradas na Fig. 34. A Fig. 34a, mostra a seção denominada básica simples. Neste caso, todos os veículos que entram na seção de entrelaçamento por uma aproximação são obrigados a cruzar com todos os veículos que entram pela outra aproximação. Assim todo o tráfego se entrelaça.

A seção de entrelaçamento com faixas específicas (Fig. 34b) serve tanto ao entrelaçamento quanto ao tráfego direto. Neste caso, é necessário oferecer um número de faixas suficientes tanto para o entrelaçamento quanto para o tráfego direto.

A Fig. 34c, mostra uma seção de entrelaçamento composta, ilustrando as manobras que são necessárias quando o número de veículos que se entrelaçam excede a capacidade de uma faixa de tráfego. Quando o número de veículos entrelaçado é o dobro na capacidade de uma faixa de tráfego, são necessárias quatro vezes mais manobras, do que no caso de uma faixa. Estas manobras são verificadas em três trechos distintos desta seção de entrelaçamentos, significando, teoricamente, a necessidade do triplo do comprimento para acomodar o dobro do volume.

A Fig. 34d ilustra o caso de separação do tráfego que se entrelaça e direto. Neste caso, a parte central funciona como uma seção básica simples já que o tráfego direto utiliza as pistas externas.

4.2.2 — Seção de Entrelaçamentos Múltiplos

Uma seção de entrelaçamento múltipla pode ser definida como um trecho de via com uma mão de direção, com uma ou mais rampas de entrada, seguida de uma ou mais rampas de saída. Este tipo de seção mais complexa é ilustrado pela Fig. 35b. Tais seções ocorrem freqüentemente em áreas urbanas onde há necessidade de coletar e distribuir veículos.

As Figs. 35c e 35d, ilustram casos em que o entrelaçamento se processa de um só lado de rodovia, ou em ambos os lados, provocando, então, entrelaçamento através da via.

4.3 — CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO

Numa seção de entrelaçamento participam duas classes de tráfego:

- 1) o tráfego que passa pela seção sem cruzar o caminho de outros veículos; e
- 2) o tráfego que precisa cruzar o caminho de outros veículos depois de entrar na seção. Numa seção de entrelaçamento curta, mas bem projetada, operando em condições melhores do que capacidade, estes dois tipos de movimentos de tráfego tendem a se separar.

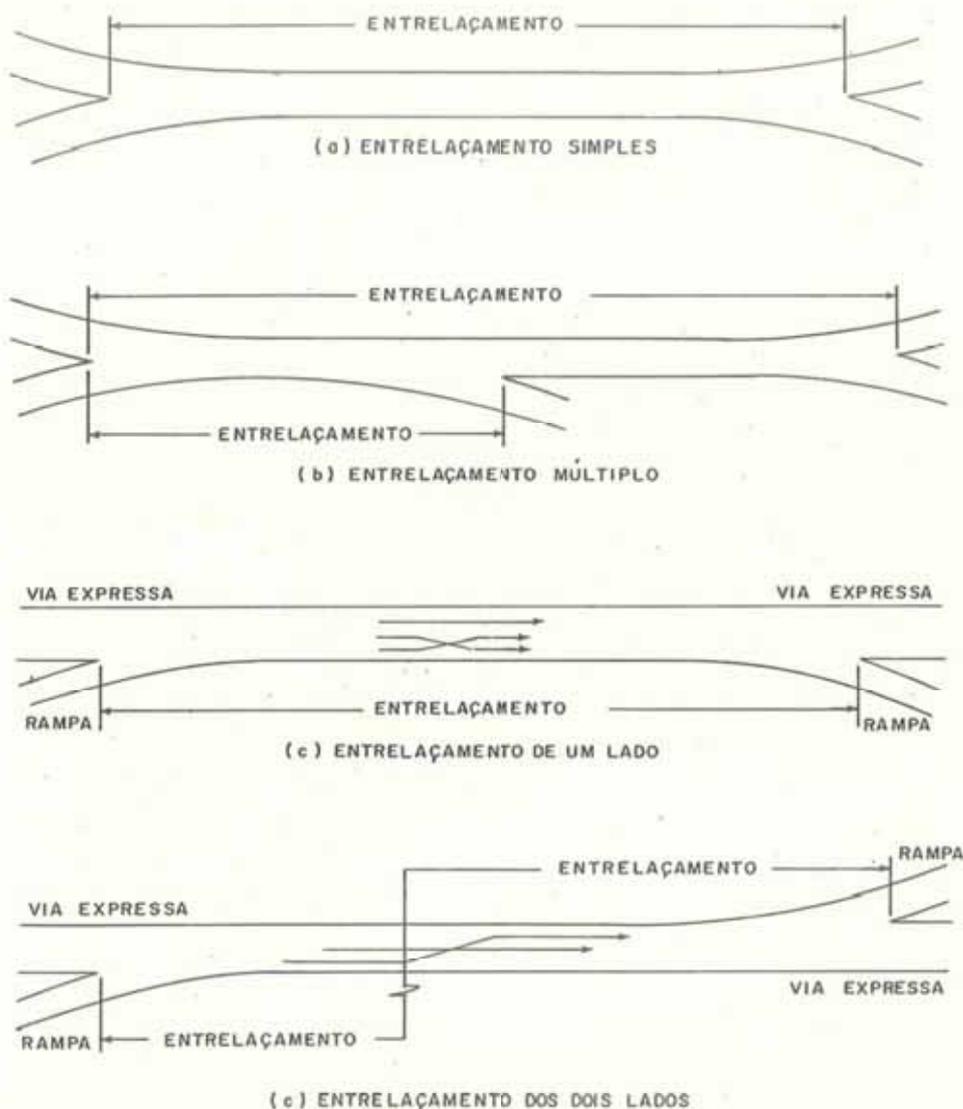


FIG. 35 — TIPOS DE SEÇÃO DE ENTRELAÇAMENTO

Esta constatação permite que cada tipo seja estudado e analisado separadamente.

As relações de entrelaçamento fundamentais são representadas pela Fig. 36. As diversas considerações incluídas nesta figura e o fórmula relativa são discutidas a seguir:

4.3.1 — Movimento de Entrelaçamento

O número total de veículos em uma seção de entrelaçamento, se todos precisam executar uma manobra de entrelaçamento simultaneamente, não pode exceder a capacidade de uma faixa singular. Supõe-

4.3.2 — Movimento não-Entrelaçante em Seções de Entrelaçamento

Uma seção de entrelaçamento pode acomodar também movimentos não-entrelaçantes. Pode ser aconselhável o uso de sinalização adequada, para que este movimento não interfira com os movimentos de entrelaçamento. O processo de dimensionamento de faixas para movimentos não-entrelaçantes é o mesmo utilizado para vias com fluxo ininterrupto.

4.4 — CAPACIDADE E NÍVEIS DE SERVIÇO

O entrelaçamento pode ocorrer sob grande variedade de condições em vias de todos os tipos. Como cada um desses tipos de via tem sua própria escala de níveis de serviço, não é possível estabelecer uma escala de A a F, para as curvas de entrelaçamento da Fig. 36. Daí o conceito de qualidade de fluxo, idêntico para todos os tipos de vias, e relacionados com os níveis de serviços. Os diversos níveis de qualidade de fluxo são designados a I a V.

A qualidade de fluxo para os diversos níveis de operação de entrelaçamento pode ser assim descrita:

- I — as condições de operação e velocidades são próximas das normalmente encontradas sob condição de fluxo livre, sem entrelaçamento. O efeito do entrelaçamento no fluxo é pequeno ou nulo. Com um número apropriado de faixas são viáveis velocidades superiores a 80km/h;
- II — as condições de operação e velocidade são apenas levemente afetadas pelo entrelaçamento. Com um número apropriado de faixas, pode-se operar a 70-80km/h;
- III — os motoristas são mais afetados pelo veículo na corrente que na situação anterior, podendo operar a 65-70km/h;
- IV — os veículos que se entrelaçam podem manter velocidades de 45-55km/h, embora retardamentos e algumas restrições em manobras podem acontecer; e
- V — representa a capacidade para um dado comprimento da seção de entrelaçamento.

A operação é lenta (abaixo de 45km/h), podendo ocorrer com freqüência paradas de veículos entrelaçando passagem forçada em faixas paralelas, e alteração de movimentos de entrelaçamento.

A Tabela 28 fornece os volumes de serviços máximos para as diversas qualidades de fluxo. O projeto de uma seção de entrelaçamento deverá ser baseado no nível de serviço geral pretendido para a via, da qual a seção de entrelaçamento faz parte. A Tabela 29 é usada como referência apresentando duas qualidades de fluxo, uma desejável e uma mínima, para cada nível de serviço. As relações abaixo da linha cheia, geralmente não são utilizadas para projeto.

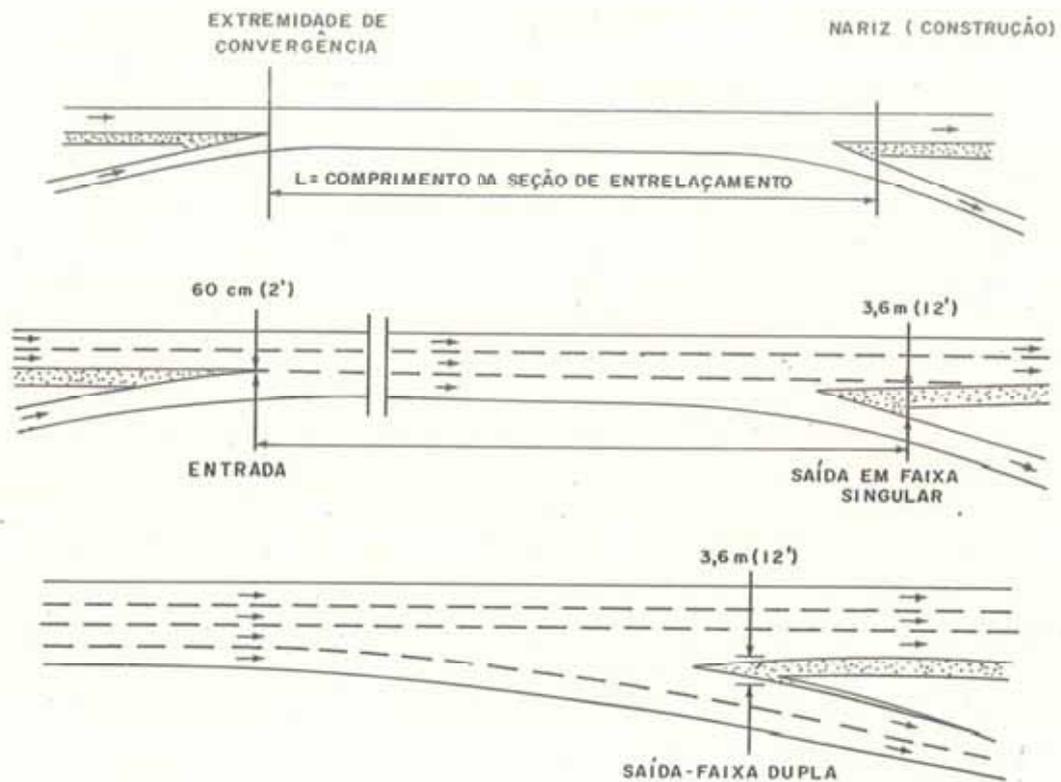


FIG. 37 — DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE UMA SEÇÃO DE ENTRELÇAMENTO

TABELA 28

Relação Entre Qualidade de Fluxo e Volume de Serviço Máximo por Faixa em Seções de Entrelaçamento

Qualidade de Fluxo	Volume de Serviço Máximo Por Faixa (Carros de Passageiros)
I	2 000
II	1 900
III	1 800
IV	1 700
V	1 600

TABELA 29
Relação Nível de Serviço — Qualidade de Fluxo

QUALIDADE DE FLUXO (a)				
Vias Expressas e Rodovias — Faixas Múltiplas — Tipo Rural				
Nível de Serviço	Na própria via principal	Vias Coletoras Distribuídas adicionais e separadas da via principal - Secção de Interconexão	Rodovia Rural 2 faixas	Vias Arteriais Urbanas e Suburbanas
A	I — II	II — III	II	III — IV
B	II	III	II — III	III — IV
C	II — III	III — IV	III	IV
D	III — IV	IV	IV	IV
E(b)	IV — V	V	V	V
F	Insatisfatório			

a) As relações abaixo da linha cheia não são consideradas normalmente para projeto;

b) Capacidade

Fonte: HCM, 1965

4.5 — PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO E AVALIAÇÃO

Comprimento de Entrelaçamento

O comprimento de uma seção de entrelaçamento é um fator significativo, e sua importância é evidenciada pelo fato de que o ábaco fundamental, (Fig. 36), o incorpora como variável básica.

O comprimento de uma seção de entrelaçamento é medido ao longo da via, entre a entrada e saída como é mostrado na Fig. 37. Onde as condições permitirem, efeitos negativos de uma seção de entrelaçamento devem ser evitados, do ponto de vista operacional, pelo aumento do comprimento da seção. Além disso, qualquer seção de entrelaçamento pode ser eliminada com uma separação conveniente de greides. Quando tais providências não forem possíveis, a seção de entrelaçamento deve ter, no mínimo, uma qualidade de fluxo compatível com o nível de serviço da rodovia da qual faz parte.

Largura em Termos de Número de Faixa

Embora o ábaco básico da Fig. 36 relacione os volumes de entrelaçamento apenas ao comprimento da seção, de igual importância é a determinação de sua largura em termos de número de faixas.

Conforme já exposto, os volumes de tráfego em uma seção de entrelaçamento, se separam em duas categorias distintas: o tráfego não-entrelaçante ou direto e o tráfego que se entrelaça.

O dimensionamento do número de faixas para o tráfego direto se faz como para fluxo ininterrupto. Se os volumes diretos de entrada forem representados por V_{01} e V_{02} , o número de faixas para o tráfego direto será:

$$N_1 = \frac{V_{01} + V_{02}}{VS}$$

onde: VS é o volume de serviço médio da faixa, calculado sob condições de tráfego e de greide da seção analisada, entretanto não considerando entrelaçamentos (semelhante a trechos de fluxo direto), deve ser calculado para o nível de serviço, da qual a seção faz parte.

As faixas adicionais para entrelaçamento são calculadas em paralelo, mas não em bases idênticas. Sendo V_{e1} e V_{e2} os volumes de entrelaçamento, o número de faixas necessário será:

$$N_2 = \frac{V_{e1} + KV_{e2}}{VS}$$

onde V_{e2} é o menor volume de entrelaçamento, VS, é o mesmo volume de serviço anterior e K é o fator de influência de entrelaçamento, variando de 1,0 a 3,0 (Fig. 36).

O número total de faixas necessário será então:

$$N = \frac{V_{01} + V_{02} + V_{e1} + KV_{e2}}{VS}$$

como $V_{01} + V_{02} + V_{e1} + V_{e2} = V$
(volume total de entrelaçamento)

$$N = \frac{V + (K - 1) V_{e2}}{VS}$$

Os valores de K são dados para as várias qualidades de fluxo da Fig. 36. Como o valor N geralmente resulta fracionário deve-se tomar todo o cuidado possível quanto à necessidade ou não de uma faixa para acomodar o volume excedente.

Relações Velocidade — Volume de Entrelaçamento — Comprimento — Largura

As velocidades e volumes de uma seção de entrelaçamento, unidas ao comprimento e largura da seção, têm um efeito vital nas características de operação da seção, e determinam as condições de entrelaçamento. Imaginemos que uma seção de entrelaçamento de pequeno comprimento esteja em estudo.

Assumindo que o tráfego seja composto inteiramente de veículos que se entrelaçam, verifica-se que, para volumes de tráfego muito baixos, haverá pouco conflito entre os veículos que se entrelaçam, porque, a entrada de um veículo em uma aproximação coincidirá com um espaçamento na corrente de tráfego na outra

aproximação. Conforme o tráfego se torna maior, entretanto, a probabilidade de os veículos entrarem na seção simultaneamente aumentará até que, a volumes moderadamente maiores, muitos motoristas terão que retardar e ajustar seus tempos de chegada, para coincidir com oportuno espaçamento. Alguns terão necessidade de parar e esperar por um espaçamento na outra corrente de tráfego. Quando a seção estiver sobrecarregada, muitos motoristas poderão hesitar e a seção de entrelaçamento não atingirá seus propósitos. A operação é então comparável àquela em uma interseção tipo oblíqua, tendo uma capacidade cerca de 1 500 vph.

Este valor corresponde à capacidade de escoamento de uma faixa de tráfego singular, a velocidades relativamente baixas, sob condições de congestionamento quando todos os veículos param por algum tempo na aproximação. Seções de entrelaçamento maiores, entretanto, recebem um tráfego consideravelmente maior. Comprimentos de entrelaçamentos suficientes, permitem, dentro de limites razoáveis, que mais veículos utilizem a seção de entrelaçamento, sem redução razoável de velocidade.

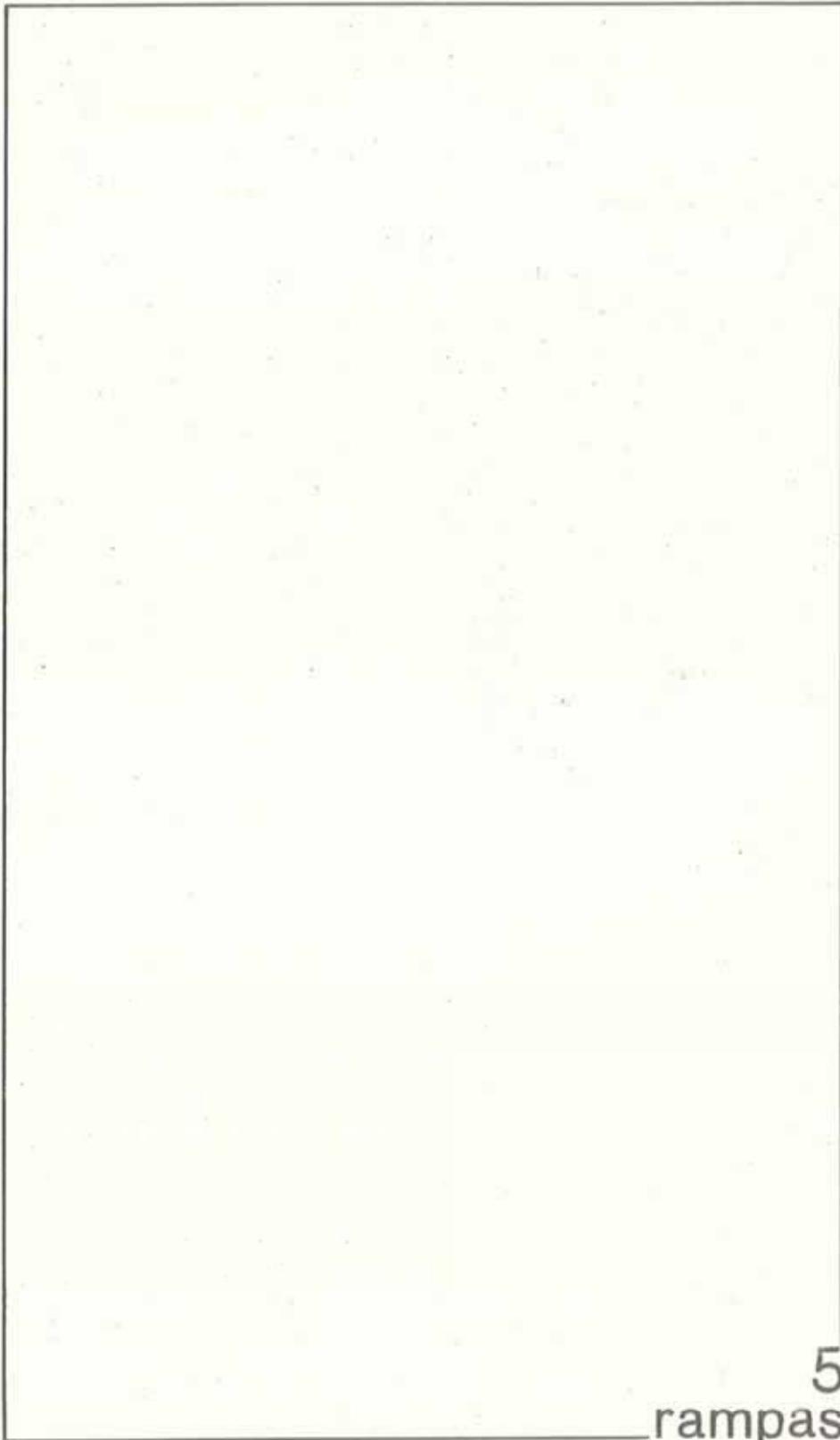
Em geral, quanto mais longa a seção de entrelaçamento, torna-se possível que maiores volumes de tráfego que se entrelaçam utilizem a seção e com maior liberdade de movimento alcançada. Ressalta-se que em todos estes casos, a largura da seção de entrelaçamento deve ser adequada.

As curvas da Fig. 36, mostram que, para um dado volume de tráfego que se entrelaça, as velocidades aumentam como o aumento do comprimento da seção; ou, para um dado comprimento da seção, a velocidade diminui com um aumento do volume de entrelaçamento, até um ponto onde a capacidade é alcançada a uma velocidade de 30 a 50km/h, como ilustrado pela curva V.

Normalmente, a operação na capacidade é indicativa de tão alta demanda, e os veículos nas vias de aproximação estão em filas com movimento que fornecem um suprimento constante de fluxos de veículos. Qualquer crescimento posterior no volume de aproximação, ou qualquer pequeno acidente, provavelmente leva a condições de instabilidade ou congestionamento.

Com a densidade crítica superada, as velocidades caem abaixo de 30km/h, a capacidade não pode mais ser mantida, é o congestionamento completo ou estagnação, com fluxo forçado, podendo ocorrer em poucos instantes.

Nas seções representadas à direita da curva III (Fig. 36) não há separação de fluxos. Em geral, a curva III representa boa operação com apenas pequenos ajustes de velocidade necessários para os veículos que se entrelaçam, desde que a largura adequada seja disponível. Do mesmo modo, a curva I representa uma condição de fluxo livre, onde a velocidade de entrelaçamento se aproximaria da velocidade de operação da via em trechos retos de fluxo ininterrupto. Esta curva é aplicada para operação em alto nível de serviço.



5

rampas

5.1 — INTRODUÇÃO

Rampa é uma via que permite aos veículos transferirem-se de uma via a outra. Pode também ser definida como uma interconexão entre duas vias que estejam em níveis diferentes ou entre duas vias paralelas.

A associação de rampas deve ser cuidadosamente projetada para evitar queda dos níveis de serviço ou congestionamentos. Em uma via expressa, por exemplo, uma rampa de saída mal projetada pode causar congestionamento, enquanto uma rampa de entrada inadequada pode causar problemas ao sistema de vias próximas.

5.2 — FATORES QUE AFETAM A CAPACIDADE DAS RAMPAS

A capacidade de uma rampa é o menor dos três valores:

- a) capacidade do terminal na junção rampa-via expressa;
- b) capacidade da própria rampa; e
- c) capacidade do terminal na junção rampa-sistema viário adjacente.

Se uma rampa tiver mais de 300m de comprimento ou for ascendente, com elevada porcentagem de caminhões, é necessário mais de uma faixa para permitir ultrapassagem.

A capacidade de uma rampa pode ser afetada por certos fatores que são discutidos a seguir.

5.2.1 — Entrelaçamento Entre Rampas

Quando uma rampa de saída está a curta distância de uma rampa de entrada, fatalmente haverá entrelaçamento entre rampas. O entrelaçamento deve ser analisado de acordo com critérios estabelecidos no capítulo anterior, para não afetar o nível de serviço desejado para aquele trecho de rodovia.

5.2.2 — Volumes dos Períodos de Pico

Os períodos de pico podem diferir nas seções com junções em rampas e para o resto da via expressa. Os volumes de pico devem ser bem determinados nas junções a fim de evitar quedas dos níveis ou congestionamento nas junções durante o período de pico.

5.2.3 — Características de Projeto

Raios de curvatura, greides, distâncias de visibilidade e comprimento inadequado são características de projeto que podem afetar a capacidade de uma rampa. Tais características devem ser bem estudadas no projeto de novas facilidades para prover nível de serviço adequado.

5.3 — Níveis de Serviço

Para junções de rampa define-se a mesma escala de níveis de serviço de A a F apresentada anteriormente.

O nível de serviço A apresenta a situação de operação sem restrições. O tráfego que entra e sai da via expressa não produz efeitos sensíveis, sempre achando espaços entre os veículos na via expressa.

O nível de serviço B já exige pequenos ajustes na via expressa. Nas rampas de saída não há qualquer perturbação, permanecendo aproximadamente as mesmas condições do nível A.

O nível C representa o limite onde o fluxo livre ainda é assegurado, exigindo consideração de variações de volume dentro da hora de pico.

Os motoristas têm nítida sensação de que estão próximos de junções com rampa e devem estar atentos para ajustar suas velocidades sempre que necessário.

As junções com rampa devem, sempre que possível, ser projetada nos níveis A, B ou C, devendo ser coerentes com o nível de serviço desejado para toda a rodovia. Entretanto, muitas vezes, por razões econômicas, isto não é possível. Neste caso, deve-se saber o quanto pode ser tolerado um nível mais pobre na região de influência das junções. Por exemplo, em alguns casos decide-se que o nível de serviço C pode ser tolerado entre 300 e 600m em uma rodovia onde o nível adotado é A ou B.

Os níveis D, E e F representam condições de altos volumes nas quais, mesmo variações em períodos curtos, podem causar instabilidade.

O nível D representa uma condição próxima da instabilidade, onde o congestionamento é incipiente. Este é o nível mais pobre admissível para projeto.

No nível E atinge-se a condição de instabilidade, podendo haver paradas intermitentes e formação de filas nas rampas de entrada. Neste nível se dá a capacidade estabelecida em 2.000 veíc./h, a velocidade varia entre 30 e 50km/h.

O nível F representa condição de fluxo forçado. Praticamente todo o tráfego da faixa 1 e da rampa de entrada está se movimentando com paradas intermitentes, causando efeitos adversos em outras faixas da via expressa.

A Tabela 30 resume critérios de níveis de serviço para situações de convergência simples. Esta tabela, entretanto, não pode ser usada sem levar em conta os procedimentos descritos a seguir:

5.4 — PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA OS NÍVEIS A, B e C

Um projeto considerado satisfatório deve satisfazer pelo menos às condições do nível C. O procedimento de cálculo acompanha os seguintes passos:

- 1) determinar a geometria do local em estudo, incluindo número de faixas da via expressa, localização e tipos de rampas adjacentes;
- 2) estabelecer os volumes de demanda para todos os movimentos de tráfego envolvidos;
- 3) selecionar a equação apropriada para a geometria envolvida e computar o volume esperado na faixa 1 em pontos de verificação apropriada; e
- 4) analisar os critérios assumidos nos itens anteriores, como segue (ajustando para caminhões e greides como passo final, se necessário):
 - a) num ponto de convergência o volume da rampa é adicionado ao volume computado na faixa 1 no nariz da rampa para dar o volume convergente esperado. Que deve ser comparado, com o máximo volume de serviço permitido dado pela Tabela 30;
 - b) no ponto divergente o volume na faixa 1 computado imediatamente a montante de rampa de saída, que inclui tráfego direto remanescente nesta faixa, bem como veículos que irão sair é comparado ao volume de serviço no ponto de verificação (Tabela 30);
 - c) em local com faixa auxiliar adicionada entre uma rampa de entrada e uma rampa de saída, os volumes de faixa 1 e da faixa auxiliar são calculados em pontos selecionados entre as rampas., Estes volumes são considerados como volume de serviço convergente ou como volume de serviço divergente,

TABELA 30

VOLUMES DE SERVIÇO (a) E CAPACIDADE NAS PROXIMIDADES DE TERMINAIS DE RAMPA
(Em v/h de Tráfego Misto em uma Direção, Supondo Terreno Plano e até 5% de Caminhões

NÍVEL DE SERVIÇO	VOLUME NA VIA EXPRESSA, UMA DIREÇÃO (1) (v/h)						VOLUME NO PONTO DE VERIFICAÇÃO (v/h)		VOLUME DE ENTRELACAMENTO (1)			
	4 FAIXAS	6 FAIXAS	8 FAIXAS	CONVERGENTE (2)	DIVERGENTE (2)							
A	1 400	2 400	3 400	1 000	1 100			800				
B	2 000	3 500	5 000	1 200	1 300			1 000				
FATOR DE PICO HOR.	0,77	0,83	0,91	1,00 g	0,77	0,83	0,91	1,00 g	0,77	0,83	0,91	1,00 g
C	2 300	2 500	2 700	3 000	3 700	4 000	4 350	4 800	5 100	5 500	6 000	6 600
D	2 800	3 000	3 300	3 500	4 150	4 500	4 900	5 400	5 600	6 000	6 600	7 200
E	4 000			6 000							8 000	
											2 000	
											2 000	

MUITO VARIÁVEL

Fonte: HCM, 1965

- limite superior para cada Nível de Serviço;
- para ser usado, verificar o volume para todas as faixas da via entre os Terminais de Rampa;
- representa o volume convergente determinado pelo volume computado na faixa 1 mais o volume da Rampa de Entrada;
- representa o volume na faixa 1 imediatamente a montante de uma Rampa de saída; inclui tráfego direto da Rampa de Saída;
- para entrelaçamento entre Rampas de Entrada e de Saída por 150m de via;
- para vias expressas, a razão do volume horário total para a maior razão horária de fluxo ocorrendo durante um intervalo de 5 minutos durante a hora de pico;
- um fator de pico horário igual a 1 000 raramente é atingido; os valores dados devem ser considerados como o fluxo médio máximo a ser obtido durante um intervalo de 5 min dentro da hora de pico; e
- capacidade.

dependendo de localização desses pontos. Estes procedimentos são discutidos em detalhes mais tarde como "Uso da Faixa Auxiliar";

- d) para rampas muito próximas de entrada e saída, os volumes de serviço de entrelaçamento, devem ser verificados através da utilização da Tabela 30. Os volumes atribuídos às rampas são somados e comparados aos valores da tabela. Se necessário, podem ser efetuados cálculos para determinar o entrelaçamento, tomando por base qualquer segmento de 150m (500 pés) na seção de entrelaçamento.
- e) rampas de duas faixas ou ramificações maiores. Os diversos volumes convergentes ou divergentes são amparados com padrões apropriados da Tabela 30; e
- f) o volume total de tráfego na via expressa, excluindo volumes nas faixas auxiliares, é comparado com os volumes de serviço para vias expressas dados na Tabela 30. Neste caso, faixas auxiliares não são contadas como faixas de via expressa.

5.5 — AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

O volume de serviço para o nível particular selecionado não pode ser excedido em qualquer ponto se a harmonia total do projeto for mantida. Se não forem excedidos, o projeto é considerado satisfatório para operação de tráfego no nível de serviço selecionado. Se os volumes são excedidos em um ou mais pontos:

- a) no caso de um projeto novo, reprojetar, se possível, ou aceitar um nível de serviço mais pobre, considerando a última alternativa, e lembrar que, embora uma junção ocasional, operando um pouco abaixo do nível desejado, possa ser aceitável, quanto mais freqüente esta alternativa for usada, mais pobre será o nível de serviço total da rodovia; e
- b) no caso de uma facilidade existente, considerar a reconstrução ou aceitar um nível de serviço restrito. Em locais importantes, considerar medidas especiais, ou outras medidas de controle, capazes de desenvolver operação altamente eficiente na junção.



FIG. 38 — PONTOS CRÍTICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO VOLUME EM ANÁLISES DE FUNÇÕES EM RAMPA

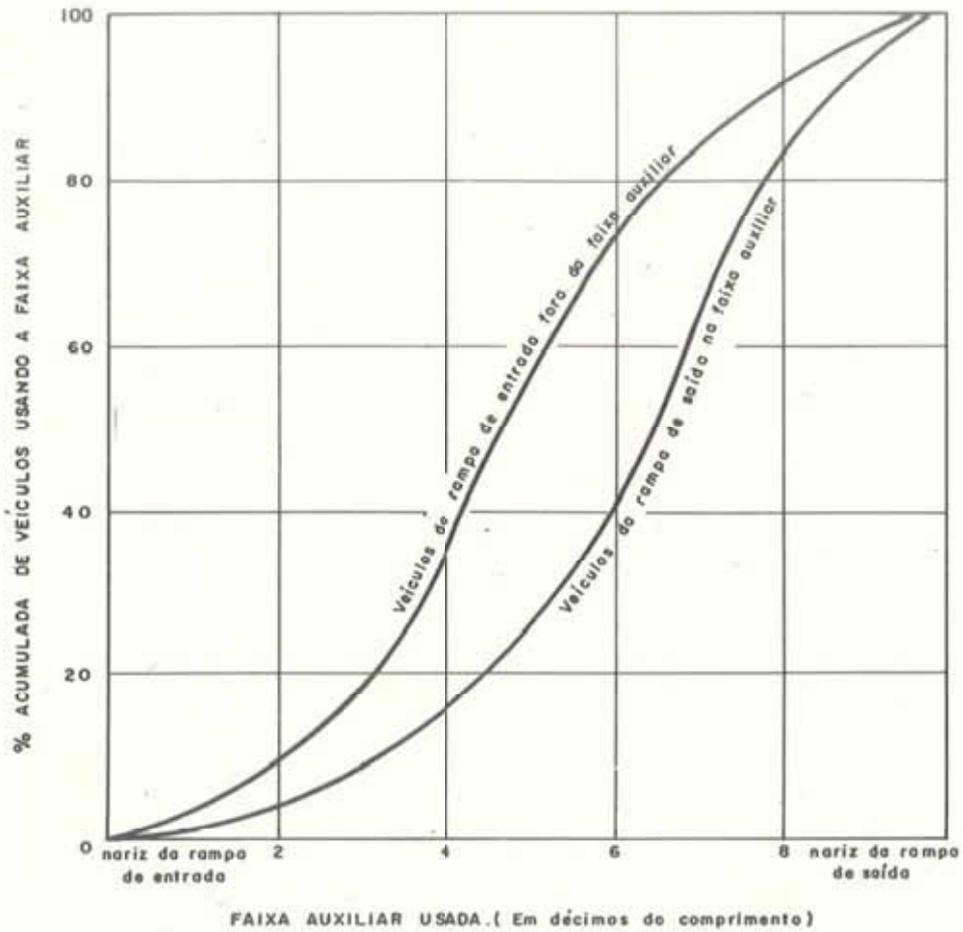


FIG. 39 — USO DA FAIXA AUXILIAR ENTRE AS RAMPAS ADJACENTES DE ENTRADA E SAÍDA

Fonte: HCM, 1965

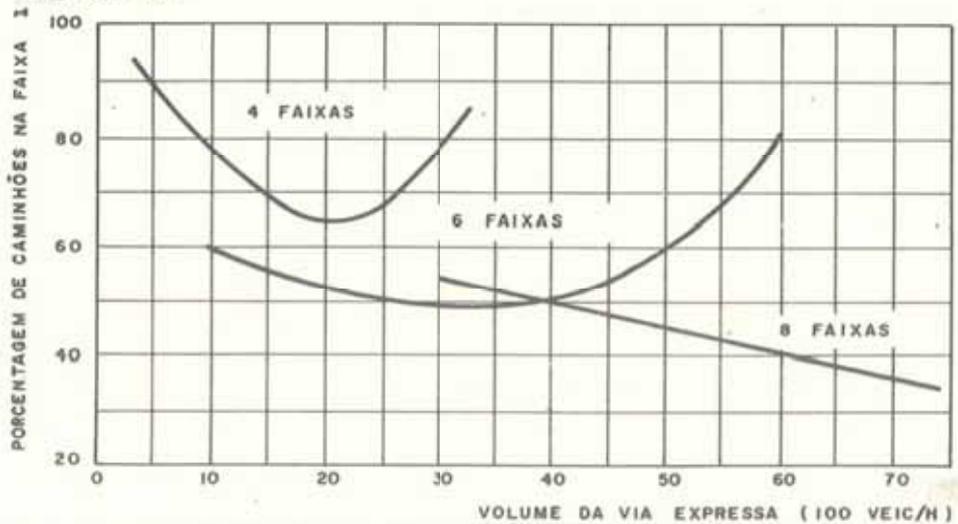


FIG. 40 — PORCENTAGEM DE CAMINHÕES NA FAIXA 1 EM VIAS EXPRESSAS DE 4, 6 8 FAIXAS, IMEDIATAMENTE A MONTANTE DA RAMPA DE ENTRADA OU DE SAÍDA

Fonte: HCM, 1965

O objetivo de projetar ou reconstruir, se os volumes de serviço são excedidos, é reduzir os volumes nos pontos de verificação, para os quais o nível de serviço selecionado não se verifica. Exemplos de medidas possíveis incluem:

- adição de faixa auxiliar;
- aumento da distância entre as rampas;
- separação de altos volumes em duas rampas;
- uso de uma via coletora-distribuidora para separar o entrelaçamento do fluxo principal;
- rearranjo da seqüência de rampas; e
- adição de faixas na via expressa.

O cálculo de junções é feito através das Figs. 41 a 58, utilizadas para determinação do volume na faixa 1 da via expressa. Estas operações levam em conta as distâncias e os volumes em rampas adjacentes bem como o volume na via expressa e na rampa em estudo.

Caso Exista Faixa Auxiliar:

A presença de uma faixa auxiliar muda o procedimento de cálculo. Com faixas auxiliares, o aumento de oportunidade de entrelaçamento ou mudança da faixa entre as faixas 1 e a faixa auxiliar torna necessário o cálculo do volume em cada uma dessas faixas em pontos selecionados entre os narizes das rampas.

Os volumes calculados para a faixa 1 e auxiliar podem ser comparados separadamente com o volume de serviço desejado. Se os pontos de verificação estão à metade da distância entre as rampas, ou perto da rampa de entrada, o volume de serviço convergente deve ser usado. Se perto de rampa de saída, o volume divergente deve ser utilizado.

Para a verificação de todas as faixas da rodovia, a faixa auxiliar não deve ser contada como uma faixa da rodovia, e o volume na faixa auxiliar não deve ser incluído no volume total considerado.

A Fig. 59 é um processo adicional utilizado em conjunto com as equações na análise de faixas auxiliares. Seu uso permite exame de situação de movimento de transição entre rampas de entrada e saída, em qualquer ponto ao longo da faixa auxiliar. É concebida para aplicação em faixas de comprimento inferior a 425m (1.400 pés) como nas Figs. 45, 46, 51 e 55.

Se a faixa tem mais de 425m (1.400 pés) as distribuições mostradas no caso da Fig. 39 podem ser aplicadas. O procedimento de cálculo utilizado é o seguinte:

- a) determinar o volume na faixa 1 no nariz da rampa de saída, usando o ábaco apropriado (Figs. 45, 46, 50, 51 e 55, o volume na

faixa 1 consistirá em veículos diretos na faixa 1 e veículos que pretendam sair da rampa a jusante. Por simplicidade, considera-se que 100% do volume que pretende sair na próxima rampa estão no raiz da rampa de entrada. Na prática, é mais provável que seja aproximadamente 95%, pois há veículos que ainda estão na faixa 2 no nariz da rampa de entrada;

- b) subtrair o volume da rampa de saída do volume da faixa 1 calculado para obter o volume direto na faixa 1; e
- c) fazer diversas verificações nos volumes da faixa 1 e das faixas auxiliares em pontos entre as rampas. Os seguintes volumes são considerados:

VOLUME NA FAIXA 1 = Vol. Direto na faixa 1 + Vol. Rampas de entrada Fora da Faixa Auxiliar (Fig. 39 curva superior) + Vol. Saída ainda na Faixa 1 (Fig. 39 curva inferior).

VOLUME NA FAIXA

AUXILIAR = Vol. de entrada ainda na Faixa Auxiliar (Fig. 39 curva superior) + Vol. Saída já na Faixa Auxiliar (Fig. 39 curva inferior).

Como a faixa 1 carrega veículos diretos, bem como os nas rampas, parece óbvio que, usualmente, seja a faixa crítica em termos de supercarregamento (congestionamento) potencial, se comparado com a faixa auxiliar que carrega somente veículos das rampas. O ponto mais crítico entre as rampas, pode usualmente ser detectado, verificado os volumes relativos das rampas, e a forma das curvas na Fig. 39.

Além da consideração feita para o uso da faixa auxiliar, devem-se estudar ajustes necessários quando a porcentagem de caminhões é elevada. Os procedimentos descritos até agora são válidos para tráfego misto, contendo no máximo 5% de caminhões. A tabela de fator de ajuste para caminhões (fluxo ininterrupto) mostra um valor de 1,00 quando não há caminhões, e 0,91 quando há 5% de caminhões. Desta forma, quando não há caminhões, o processo oferece um fator de segurança igual a $1,00/0,91 = 1,10$.

Por outro lado, onde mais que 5% de caminhões estão envolvidos em qualquer fluxo, ou o greide é significativo, ou um ajuste para caminhões deve ser feito para aquele fluxo. A Fig. 40, é fornecida para se fazer este ajuste. Ela mostra a porcentagem de caminhões provável na faixa 1, para qualquer volume de via expressa dada de 4, 6 e 8 faixas. Tendo o número e a porcentagem de caminhões na faixa 1, o equivalente em carros de passageiros, e o fator de ajuste para caminhões podem ser, então, determinados. A multiplicação do volume equivalente na faixa 1, pelo fator 0,91 (fator de ajuste usado) converte o volume a base dos 5% de caminhões, do mesmo modo, o mesmo ajuste pode ser aplicado aos volumes de rampa onde necessário.

5.6 — PROCEDIMENTO PARA O NÍVEL D

A Tabela 31 e a Fig. 59 são os principais instrumentos de cálculo refletindo o comportamento do motorista no nível de serviço D. A Tabela 31 dá a porcentagem de tráfego direto provável de permanecer na faixa 1 em seções envolvendo junção em vias expressas de 4, 6 e 8 faixas. Do mesmo modo a Fig. 59, mostra as porcentagens de tráfego de rampas de entrada e saída prováveis na faixa 1 (bem como na faixa auxiliar), na mencionada seção destas vias.

Os volumes de serviços, ao nível de serviço D podem ser determinados por meio da utilização da Tabela 31 e da Fig. 59. Se os volumes do ponto de verificação não superam aqueles associados com o nível D, a capacidade raramente será superada. Estes valores representam, então, maiores volumes que podem ser carregados com pouca probabilidade de congestionamentos.

As condições, entretanto, podem ser restritas para muitos motoristas. Este processo e valores devem ser utilizados para verificar problemas operacionais em vias expressas e pode ser usado em projetos para verificar locais críticos, assegurando que eles não formarão gargalos que afetariam o nível de serviço em locais a montante.

Procedimento de Cálculo Para Junções de Rampas no Nível D:

- a) estabelecer a geometria do local em estudo. Incluindo número de faixas da via expressa, localização de todas as rampas numa distância de 1.200m (4.000 pés) a montante ou a jusante de rampa ou ponto em estudo e, faixas auxiliares, caso existirem;
- b) estabelecer os volumes de demanda para todos os movimentos envolvidos; e
- c) determinar o fluxo por faixa na seção considerada em pontos críticos tais como os mostrados na Fig. 38, a intervalos de 150m (500 pés) da seção crítica, usando a tabela 31 e a Fig. 59.

Comparar estes fluxos com os valores de controle:

- o volume convergente na faixa 1, ou na faixa auxiliar, não pode superar o valor dado pela Tabela 30, para o nível de serviço selecionado. Do mesmo modo, o volume divergente em um ponto da saída não pode exceder o valor dado na Tabela 30, para o nível D. Os volumes em locais críticos, como mostrado na Tabela 30, vêm a ser comparados com estes valores. O exame da Fig. 59 permitirá determinar onde estão os pontos críticos;
- o volume total da via expressa (todas as faixas incluindo a faixa auxiliar) não pode ultrapassar o volume dado na Tabela 30, para nível de serviço desejado;
- o número de veículos em entrelaçamento não pode ultrapassar 1.400 a 1.650 vph em qualquer segmento de 150m (500 pés), da seção de entrelaçamento (dependendo do fator de pico horário, Tabela 30; e

- d) avaliar os resultados dos exames do item anterior. Se insatisfatório adotar, as possíveis correções.

5.7 — CAPACIDADE

O nível de serviço E, ou capacidade, envolve volumes ainda maiores e em nível de serviço muito pobre. Volumes convergentes mostram o volume máximo que tem uma possibilidade razoável de ocorrer uma hora (2.000 a 2.100 vhp). Isto ocorre com freqüência para justificar a capacidade de 2 000 vph na Tabela 31.

TABELA 31

Porcentagem Aproximada de Tráfego Direto * Remanescente na Faixa 1 nas Proximidades de Terminais de Rampa — Nível de Serviço D

Volume Total de Tráfego Direto	Tráfego Direto que Permanece na Faixa 1 (%)		
	VIA EXPRESSA		
Uma Direção (VPH)	8 Faixas	6 Faixas	4 Faixas
6 500	10	—	—
6 000 — 6 499	10	—	—
5 500 — 5 999	10	—	—
5 000 — 5 499	9	—	—
4 500 — 4 999	9	18	—
4 000 — 4 499	8	14	—
3 500 — 3 999	8	10	—
3 000 — 3 499	8	6	40
2 500 — 2 999	8	6	35
2 000 — 2 499	8	6	30
1 500 — 1 999	8	6	25
1 499	8	6	20

Tráfego não evoluído em movimento de rampas a menos de 1 200m (4 000 pés) em cada direção

Fonte: HCM, 1965

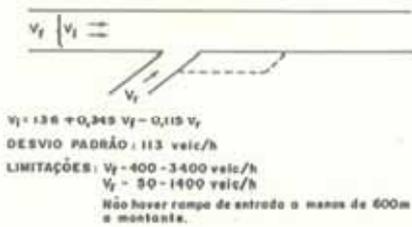


FIG. 41 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 IMEDIATAMENTE A MONTANTE DA JUNÇÃO DE RAMP, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS

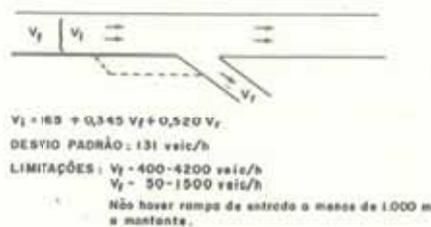


FIG. 42 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 IMEDIATAMENTE A MONTANTE DA JUNÇÃO DE RAMP, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS

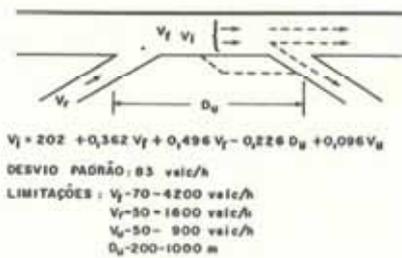


FIG. 43 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMP DE SAÍDA, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS COM RAMP DE ENTRADA A MENOS DE 1.000 M A MONTANTE

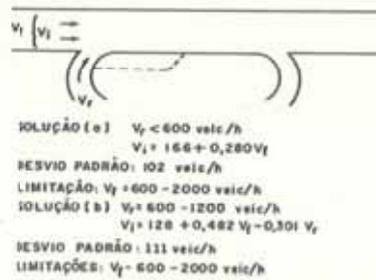


FIG. 44 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMP DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS, "LOOP" DE TREVO SEM FAIXA AUXILIAR

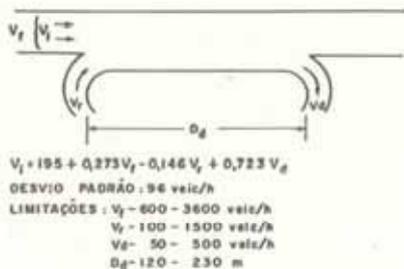


FIG. 45 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMP DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS, "LOOP" DE TREVO COM FAIXA AUXILIAR

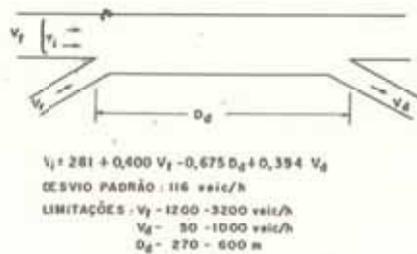


FIG. 46 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMP DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS, COM FAIXA AUXILIAR ENTRE RAMPAS

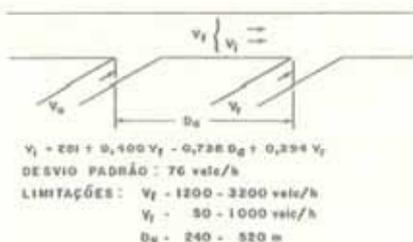


FIG. 47 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA SEGUNDA RAMPA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 4 FAIXAS

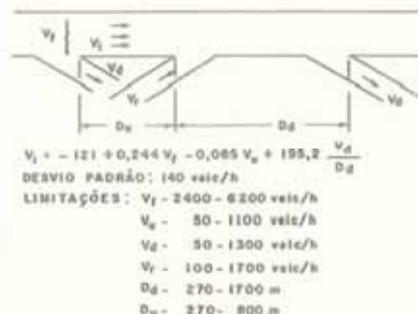


FIG. 48 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMPA DE ENTRADA COM RAMPAS DE SAÍDA ADJACENTES, EXPRESSA, 6 FAIXAS

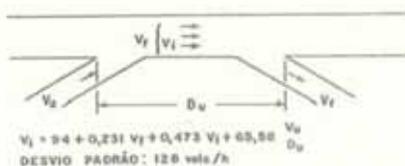


FIG. 49 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMPA DE SAÍDA, VIA EXPRESSA, 6 FAIXAS, COM RAMPA DE ENTRADA A MENOS DE 1700 M A MONTANTE

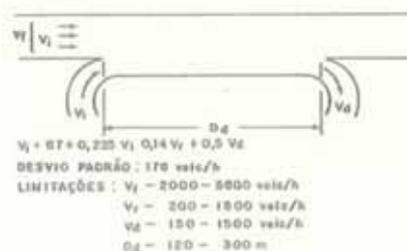


FIG. 50 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DO "LOOP" DE ENTRADA DE UM TREVO, VIA EXPRESSA, 6 FAIXAS, COM FAIXA AUXILIAR

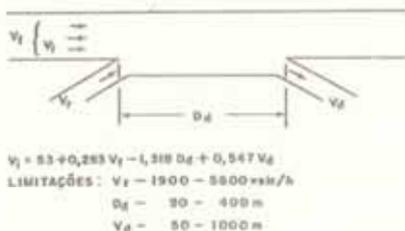


FIG. 51 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA RAMPA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 6 FAIXAS, COM FAIXA AUXILIAR

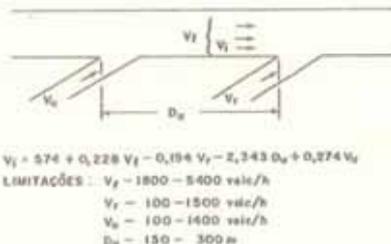


FIG. 52 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DA SEGUNDA RAMPA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 6 FAIXAS

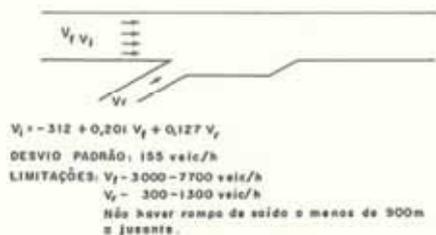


FIG. 53 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DE UMA RAMPADA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS.

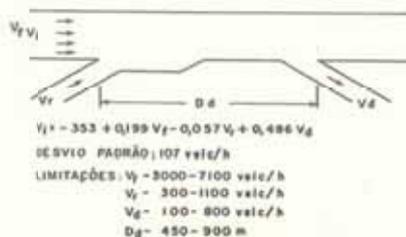


FIG. 54 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DE UMA RAMPADA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS, COM RAMPADA DE SAÍDA A JUSANTE

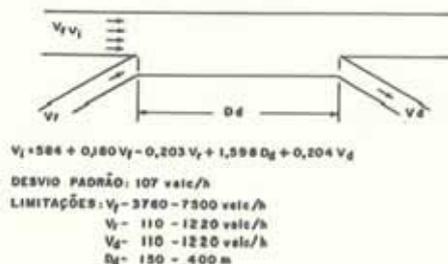


FIG. 55 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1 A MONTANTE DE UMA RAMPADA DE ENTRADA, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS, COM FAIXA AUXILIAR ENTRE RAMPAS.

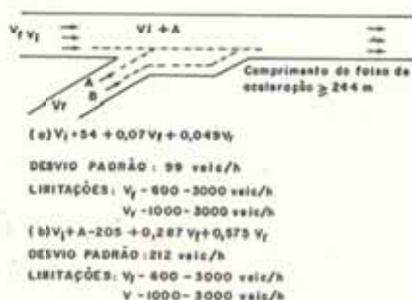


FIG. 56 — DETERMINAÇÃO DO VOLUME NA FAIXA 1, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS, RAMPAS DE 2 FAIXAS COM FAIXA DE ACELERAÇÃO

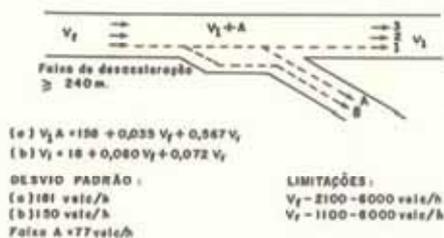


FIG. 57 — DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES POR FAIXAS, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS, VIA EXPRESSA, 2 FAIXAS, MONTANTE DE UMA RAMPADA DE SAÍDA DE 2 FAIXAS

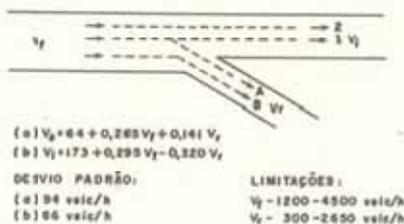
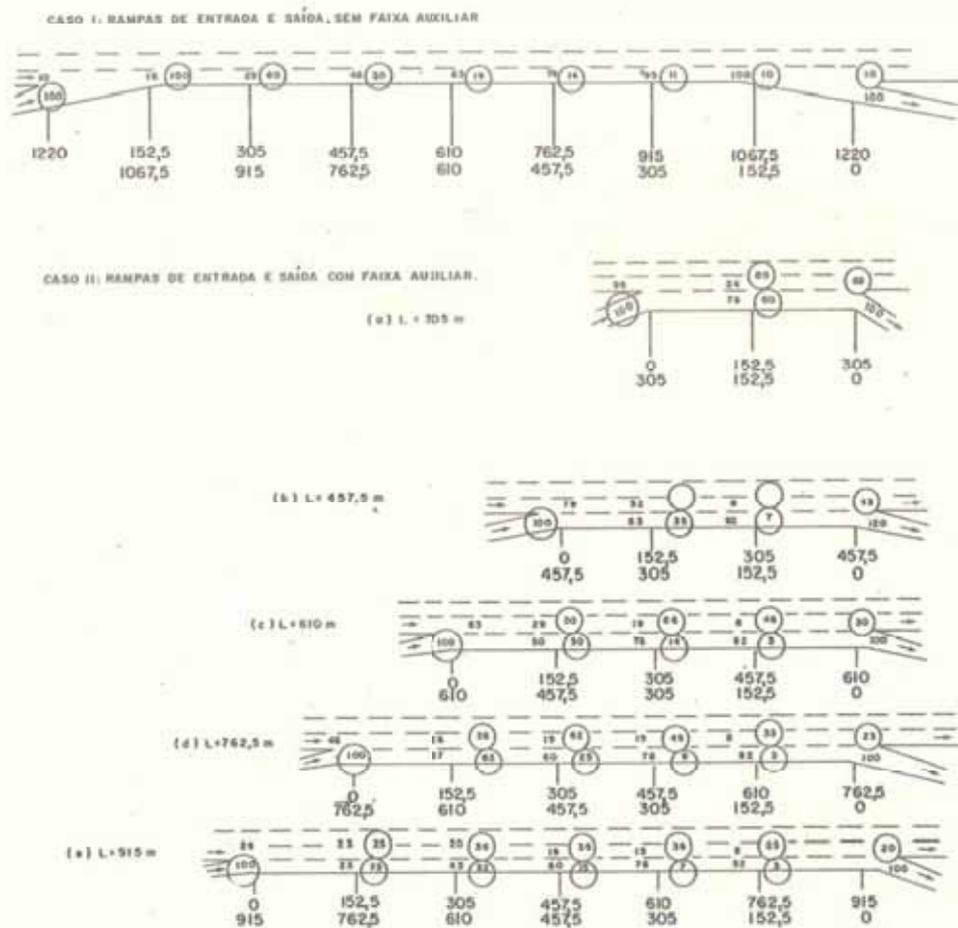


FIG. 58 — DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES POR FAIXAS NA SEPARAÇÃO DE UMA VIA EXPRESSA DE 2 FAIXAS EM DUAS DE QUATRO

FIG. 59 — DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL DO TRÂNSITO NAS RAMPAS DE ENTRADA E SAÍDA, NAS FAIXAS DA DIREITA E AUXILIAR



PORCENTAGEM MÍNIMA NA FAIXA DA DIREITA NÃO PODE SER MENOR QUE A PORCENTAGEM DO TRÂNSITO DIRETO.

Série BOLETIM TÉCNICO DA CET

Redução do Consumo de Combustível: Ações na Circulação e no Transporte	— publicado
Redução dos Acidentes de Tráfego: Propostas de Medidas para um Plano de Ação	— publicado
São Paulo e a Racionalização do Uso do Combustível	— publicado
Pesquisa Aerofotográfica da Circulação Urbana: Análise de um Projeto Piloto	— publicado
Noções Básicas de Engenharia de Tráfego	— publicado
Engenharia de Campo	— no prelo
Ação Centro	— no prelo
Semco	— no prelo