

Procedimento do U.S.HCM/2010

⇒ Tipo de configuração:

- Incorporação em ramais: com 1 faixa (isolada ou combinações simples)
com 2 faixas (**ver Figura 13-3, 13-14**)
ligações de acesso: influência 450m (1500ft) após o acesso
procedimento básico para acessos à direita
- Incorporação principal: de 2 vias onde $N \Rightarrow N-1$ faixas (2 faixas $\Rightarrow 1$)
segmento normal se faixas preservadas
(pode haver também adição de faixas)
- Separação em ramais: com 1 faixa (isolada ou combinações simples)
com 2 faixas (**ver Figura 13-3, 13-15**)
ligações de egresso: influência 450m (1500ft) antes do egresso
procedimento básico para saídas à direita
- Separação principal: para 2 vias onde $N \Rightarrow N+1$ faixas (1 faixa $\Rightarrow 2$)
segmento normal com faixas preservadas
(pode haver problemas com eliminação de faixas)
- Se as áreas de influência de ligações adjacentes estiverem superpostas,
deve-se analisar ambas como independentes e
adotar a pior estimativa para o segmento com superposição

⇒ Medida de eficácia:

- na via expressa: densidade nas faixas laterais $\tilde{K}_{12} = D_R$ (**Tabela 13-2**)
também a velocidade $\tilde{V}_{12} = S_R$ como medida secundária
função do volume nas faixas laterais à direita (**Figura 13-3,5**)
 $\tilde{q}_{R12} = V_{R12}$ para ligação de acesso
 $\tilde{q}_{12} = V_{12}$ para ligação de egresso
($\tilde{q}_{n,n-1} = V_{n,n-1}$ para ligação expressa à esquerda)
- procedimento básico para acessos/egressos à direita ...
à esquerda, apenas faixa N seria afetada (mais à esquerda)
também aplicável em rodovia de múltiplas faixas/pista auxiliar
- na via de ligação: volume (acesso ou egresso) por faixa (**Tabela 13-10**)
também a velocidade de tráfego na ligação
- na junção com via expressa ou rodovia de múltiplas faixas/pista auxiliar:
capacidade e volume (acesso ou egresso) por faixa (**Tabela 13-8,9**)

FIGURA 13-1. Tipos de Ramais de Ligação e Área de Influência - HCM/2010

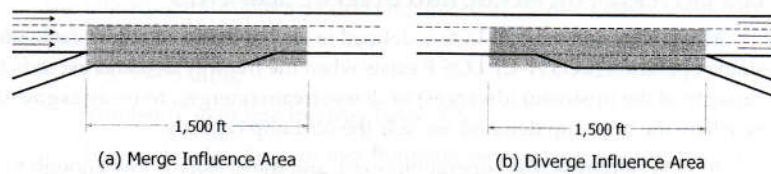


FIGURA 13-3. Extensão das Faixas de Aceleração e Desaceleração - HCM/2010

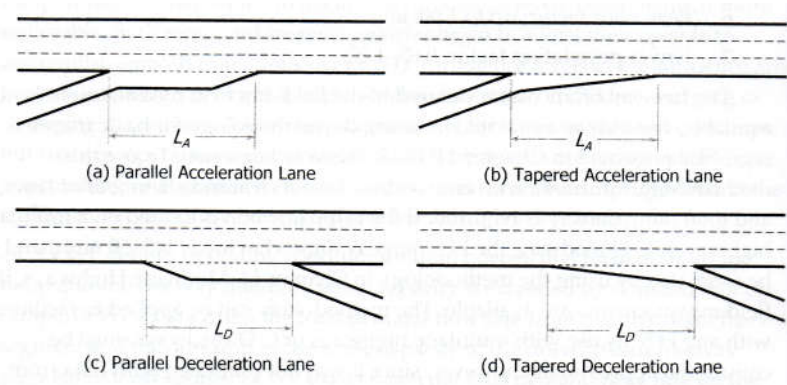
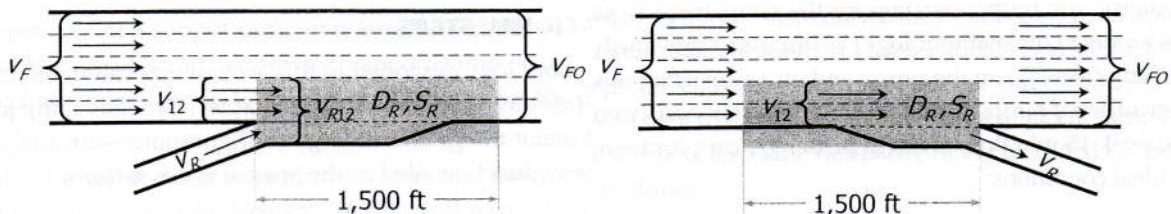


FIGURA 13-5. Parâmetros Básicos de Ramais de Ligação e Área de Influência - HCM/2010



Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V , a velocidade V é S e a densidade K é D (D também é usado para distância).

- q_F (V_F), fluxo total na via expressa aproximando área incorporação/separação (veq/h);
- q_R (V_R), fluxo total nos ramais (veq/h);
- L_A ou L_D , extensão total da faixa de aceleração ou desaceleração (m);
- V_{FR} (S_{FR}), velocidade de fluxo livre no ramal, no ponto incorporação/separação (km/h).

- q_U (V_U), fluxo total no ramal adjacente à montante (veq/h);
- q_D (V_D), fluxo total no ramal adjacente à jusante (veq/h);
- L_{UP} , distância total até o ramal adjacente à montante (m);
- L_{DN} , distância total até o ramal adjacente à jusante (m).

⇒ **Procedimento de análise:**

fluxos básicos: $\tilde{q} = \frac{VH}{FPH \cdot f_{VP} \cdot f_p}$ (fatores do segmento antecedente)

fluxos nas faixas laterais (configurações básicas: ligações em 1 faixa)

- incorporação: $\tilde{q}_{12} = p_{FM} \cdot \tilde{q}_F$ (ver Figura 13-5)

verificação de capacidade (ver Figura 13-5, Tabelas 13-8,9,10)

faixa lateral $\tilde{q}_{R12} = \tilde{q}_{12} + \tilde{q}_R$

seção de confluência $\tilde{q}_{FO} = \tilde{q}_F + \tilde{q}_R$

- separação: $\tilde{q}_{12} = \tilde{q}_R + p_{FD} \cdot (\tilde{q}_F - \tilde{q}_R)$ (ver Figura 13-5)

verificação de capacidade (ver Figura 13-5, Tabelas 13-8,9,10)

faixa lateral \tilde{q}_{12}

seção de confluência $\tilde{q}_{FO}, \tilde{q}_R$ (\tilde{q}_F)

verificação do fluxo médio nas faixas externas $\tilde{q}_{FOA} = \frac{\tilde{q}_F - \tilde{q}_{12}}{N_o} : \tilde{q}_{FOA} \leq 1,5 \cdot \frac{\tilde{q}_{12}}{2} ? \frac{\tilde{q}_{R12}}{2}$

e $\tilde{q}_{FOA} \leq 2700$ veq/h/fx (observados fluxos até 2998 veq/h/fx); senão ajustar!

verificação de nível de serviço: nas faixas da seção principal adjacentes aos ramais ...

previsão de densidade $\tilde{K}_{12} = \tilde{K}_R (= D_R)$ (ver Tabela 13-2, NS A a E, F se Q>C!)

- incorporação: $K_R = 3,402 + 0,00456 q_R + 0,0048 q_{12} - 0,01278 L_A$ (veq/km/fx)

- separação: $K_R = 2,642 + 0,0053 q_{12} - 0,0183 L_D$ (veq/km/fx)

previsão de velocidade $\tilde{V}_{12} = \tilde{V}_R$ e $\tilde{V}_{3...} = \tilde{V}_o$ (ver Tabela 13-11,12)

velocidade de fluxo livre $\tilde{V}_{FF} = \tilde{V}_{FL}$ na via

\tilde{V}_{FR} no ramal ...

velocidade média na via (todas as faixas):

incorporação: $\tilde{V} = \frac{\tilde{q}_{R12} + \tilde{q}_{OA} \cdot N_o}{\tilde{q}_{R12} + \tilde{q}_{OA} \cdot N_o} ;$ separação: $\tilde{V} = \frac{\tilde{q}_{12} + \tilde{q}_{OA} \cdot N_o}{\tilde{q}_{12} + \tilde{q}_{OA} \cdot N_o}$
 \tilde{V}_R \tilde{V}_o

TABELA 13-2. Nível de Serviço para Segmentos de Ligação com Incorporação e Separação - HCM/2010

| Nível de Serviço | Máxima Densidade | Comentários |
|------------------|---------------------------------------|---|
| A | <10veq/mi/fx (6 veq/km/fx) | Operação sem restrições |
| B | >10 - 20veq/mi/fx (6 – 12 veq/km/fx) | Manobras de incorporação/separação perceptíveis para condutores |
| C | >20 - 28veq/mi/fx (12 – 17 veq/km/fx) | Velocidade tem redução nas áreas de influência |
| D | >28 - 35veq/mi/fx (17 – 22 veq/km/fx) | Turbulência na área de influência torna-se uma interferência |
| E | >35veq/mi/fx (22 veq/km/fx) | Turbulência percebida por virtualmente todos os condutores |
| F | Demanda>Capacidade | Formam-se filas nos ramais e na via expressa |

TABELA 13-11. Modelos para Previsão de Velocidade em Áreas de Influência de Ramais Expressos de Entrada - HCM/2010

| ITEM | EQUAÇÃO OU VALOR |
|---|--|
| Ramal de Entrada com Faixa Simples, Fluxo Estável | |
| V (km/h) na área de influência: $\tilde{V}_R = \tilde{V}_{FF} - (\tilde{V}_{FF} - 67)M_s$ $M_s = 0,321 + 0.0039 e^{(q_{R12} / 1000)} - 0,0041 (L_A V_{FR} / 1000)$ | V (km/h) nas faixas externas: $\tilde{q}_{OA} = \frac{\tilde{q}_F - \tilde{q}_{12}}{N_o}$ (N_o faixas externas) $\tilde{V}_o = \tilde{V}_{FF}, \tilde{q}_{OA} < 500pc/h,$ $\tilde{V}_o = \tilde{V}_{FF} - 0,0058.(\tilde{q}_{OA} - 500), 500 < \tilde{q}_{OA} < 2300pc/h,$ $\tilde{V}_o = \tilde{V}_{FF} - 10,5 - 0,0096.(\tilde{q}_{OA} - 2300), \tilde{q}_{OA} > 2300pc/h$ |

TABELA 13-12. Modelos para Previsão de Velocidade em Áreas de Influência de Ramais Expressos de Saída - HCM/2010

| ITEM | EQUAÇÃO OU VALOR |
|--|---|
| Ramal de Saída com Faixa Simples, Fluxo Estável | |
| V (km/h) na área de influência: $\tilde{V}_R = \tilde{V}_{FF} - (\tilde{V}_{FF} - 67)M_s$ $M_s = 0,883 + 0,00009 q_R - 0,0081 V_{FR}$ | V (km/h) nas faixas externas: $\tilde{q}_{OA} = \frac{\tilde{q}_F - \tilde{q}_{12}}{N_o}$ (N_o faixas externas) $\tilde{V}_o = 1,097.\tilde{V}_{FF}, \tilde{q}_{OA} < 1000pc/h$ $\tilde{V}_o = 1,097.\tilde{V}_{FF} - 0,0062.(\tilde{q}_{OA} - 1000), \tilde{q}_{OA} > 1000pc/h$ |

Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V, a velocidade V é S e a densidade K é D.

TABELA 13-8. Capacidade na Junção de Ramais e Vias Expressas - HCM/2010

| Velocidade Fluxo Livre da Via V_{FL} | Capacidade (veq/h) * No.de faixas (no sentido considerado) | | | | Fluxo Máximo Desejável na Incorporação (\tilde{q}_{R12})** | Fluxo Máximo Desejável na Separação (\tilde{q}_{I2})** |
|---|---|------|------|---------|--|--|
| | 2 | 3 | 4 | >4 | | |
| ≥70 mi/h (112 km/h) | 4800 | 7200 | 9600 | 2400/fx | 4600 | 4400 |
| 65mi/h (104 km/h) | 4700 | 7050 | 9400 | 2350/fx | 4600 | 4400 |
| 60mi/h (96 km/h) | 4600 | 6900 | 9200 | 2300/fx | 4600 | 4400 |
| 55mi/h (88 km/h) | 4500 | 6750 | 9000 | 2250/fx | 4600 | 4400 |

Obs.: *Se superada, Nível de Serviço é F; ** Se superada, Nível de Serviço não é F mas pode ser pior que previsto

TABELA 13-9. Capacidade na Junção de Ramais de Alta Velocidade e Rodovias de Múltiplas Faixas e Pistas Auxiliares Coletoras-Distribuidoras - HCM/2010

| Velocidade Fluxo Livre da Via V_{FL} | Capacidade (veq/h) No.de faixas (no sentido considerado) | | | Fluxo Máximo Desejável na Incorporação (\tilde{q}_{R12})** | Fluxo Máximo Desejável na Separação (\tilde{q}_{I2})** |
|---|---|------|---------|--|--|
| | 2 | 3 | >3 | | |
| ≥60 mi/h (96 km/h) | 4400 | 6600 | 2200/fx | 4600 | 4400 |
| 55mi/h (88 km/h) | 4200 | 6300 | 2100/fx | 4600 | 4400 |
| 50mi/h (80 km/h) | 4000 | 6000 | 2000/fx | 4600 | 4400 |
| 45mi/h (72 km/h) | 3800 | 5700 | 1900/fx | 4600 | 4400 |

Obs.: *Se superada, Nível de Serviço é F; ** Se superada, Nível de Serviço não é F mas pode ser pior que previsto

TABELA 13-10. Capacidade Aproximada para Vias de Ramais Expressos - HCM/2010

| Velocidade Fluxo Livre do Ramal V_{FR} | Capacidade (veq/h) | |
|---|-------------------------|--------------------|
| | Ramais de faixa simples | Ramais de 2 faixas |
| >50 mi/h (80 km/h) | 2200 | 4400 |
| >40 - 50mi/h (64-80 km/h) | 2100 | 4100 |
| >30 - 40mi/h (48-64 km/h) | 2000 | 3800 |
| ≥20 - 30mi/h (32-48 km/h) | 1900 | 3500 |
| <20mi/h (32 km/h) | 1800 | 3200 |

INCORPORAÇÃO:

$$q_{12} = q_F \times P_{FM}$$

Tabela 13-6. Equações de Previsão de q_{12} para Ramais de Entrada - HCM/2010

| | | |
|------------------------|--------------|---|
| 2faixas/sentido | EQ 0 | $P_{FM} = 1,00$ |
| 3faixas/sentido | EQ 1 | $P_{FM} = 0,5775 + 0,000092 L_A$ |
| | EQ 2 | $P_{FM} = 0,7289 - 0,0000135 (q_F + q_R) - 0,002048 V_{FR} + 0,00021 L_{UP}$ |
| | EQ 3 | $P_{FM} = 0,5487 + 0,0801 q_D / L_{DN}$ |
| 4faixas/sentido | EQ 4a | $P_{FM} = 0,2178 - 0,000125 q_R + 0,05887 L_A / V_{FR}$ se $q_F / V_{FR} \leq 45/\text{km}$ |
| | EQ 4b | $P_{FM} = 0,2178 - 0,000125 q_R$ se $q_F / V_{FR} > 45/\text{km}$ |

Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V , a velocidade V é S e a densidade K é D .

| Rampa analisada | Rampa anterior | Rampa posterior | Equação usada |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Entrada | Nenhuma | Nenhuma | EQ 1 |
| Entrada | Nenhuma | Entrada | EQ 1 |
| Entrada | Nenhuma | Saída | EQ 3 ou 1 |
| Entrada | Entrada | Nenhuma | EQ 1 |
| Entrada | Saída | Nenhuma | EQ 2 ou 1 |
| Entrada | Entrada | Entrada | EQ 1 |
| Entrada | Entrada | Saída | EQ 3 ou 1 |
| Entrada | Saída | Entrada | EQ 2 ou 1 |
| Entrada | Saída | Saída | EQ 3, 2 ou 1 * |

Obs: Equação 1 para ligação isolada ou com ligação anterior de entrada e/ou ligação posterior de entrada, equação 2 para ligação anterior de saída existente, equação 3 para ligação posterior de saída existente. Usar sempre $P_{FM} = 1,00$ para via de 4 faixas (2/sentido) e equação 4 para via de 8 faixas (4/sentido).

* Quando existem ligações adjacentes de saída anterior e posterior em vias de 6 faixas (3/sentido), a equação 2 seria usada para considerar o efeito do ramal anterior se

$$L_{UP} < L_{EQ2} = 0,0652 \cdot (\tilde{q}_F + \tilde{q}_R) + 0,444 \cdot L_A + 9,9670 \cdot \tilde{V}_F - 732\text{m}$$

(caso contrário seria usada a equação 1) e a equação 3 seria

$$\text{usada para considerar o efeito da ramal posterior se } L_{DN} < L_{EQ3} = \frac{\tilde{q}_D}{0,3595 + 0,001151 \cdot L_A}$$

(caso contrário seria usada a equação 1). O uso da

equação 1 indica que não há efeito dos ramais adjacentes. Se as equações 2 e 3 tiverem de ser aplicadas (isto é, ambos os ramais adjacentes tiverem influência relevante),

recomenda-se adotar o maior valor de P_{FM} entre os previstos pelas equações 2 e 3. Em suma, $P_{FM} = \max\{P_{FM1}, P_{FM2}, P_{FM3}\}$.

⇒ **Casos especiais de acesso:**

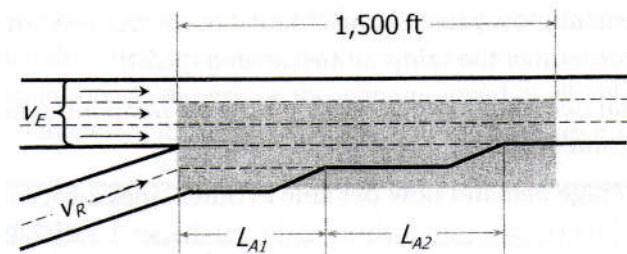
rampas de 2 faixas: L_{Aeff} e L_{deff} (ver Figura 13-14)

$$\text{Acesso: } L_{Aeff} = 2 \cdot L_{A1} + L_{A2}$$

$$\tilde{q}_{12} = P_{MF} \cdot \tilde{q}_F$$

- Para vias expressas de 2 faixas, $P_{FM} = 1,000$.
- Para vias expressas de 3 faixas, $P_{FM} = 0,555$.
- Para vias expressas de 4 faixas, $P_{FM} = 0,209$.

FIGURA 13-14. Geometria Típica de Ramais de Acesso com 2 Faixas - HCM/2010



Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V , a velocidade V é S e a densidade K é D (D também é usado para distância).

área de incorporação (**ver Figura 13-18**)

2 faixas \Rightarrow 1; N \Rightarrow N-1

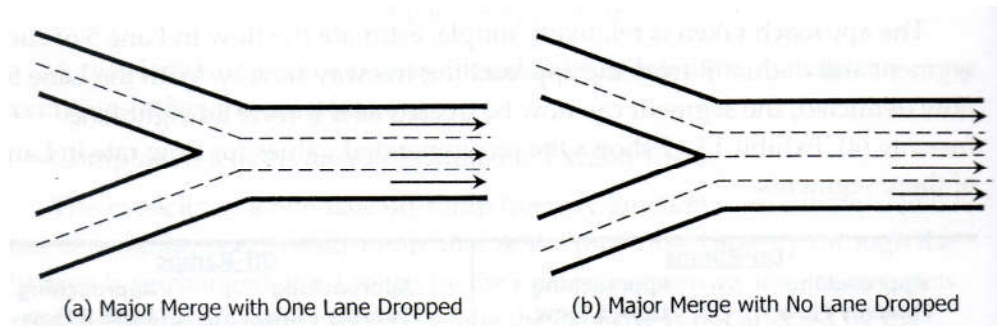
ou faixas preservadas N

análise das seções que chegam e que sai
(despreza o efeito da turbulência)

eliminação de faixas (N \Rightarrow N-1): mesmo procedimento

geometria especial (análise específica)

FIGURA 13-18. Exemplos de Incorporações Principais - HCM/2010



SEPARAÇÃO:

$$q_{12} = q_R + (q_F - q_R) \cdot P_{FD}$$

Tabela 13-7. Equações de Previsão de q_{12} para Ramais de Saída - HCM/2010

| | | |
|-----------------|------|--|
| 2faixas/sentido | EQ.9 | $P_{FD} = 1,00$ |
| 3faixas/sentido | EQ 5 | $P_{FD} = 0,760 - 0,000025 q_F - 0,0000046 q_R$ |
| | EQ 6 | $P_{FD} = 0,717 - 0,000039 q_F + 0,184 q_U / L_{UP}$ se $q_U / L_{UP}[m] < 0,656^{**}$ |
| | EQ 7 | $P_{FD} = 0,616 - 0,000021 q_F + 0,0380 q_D / L_{DN}$ |
| 4faixas/sentido | EQ 8 | $P_{FD} = 0,436$ |

Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V, a velocidade V é S e a densidade K é D.

** senão usar equação (5); correção adicionada em janeiro/2013.

| Rampa analisada | Rampa anterior | Rampa posterior | Equação usada |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Saída | Nenhuma | Nenhuma | EQ 5 |
| Saída | Nenhuma | Entrada | EQ 5 |
| Saída | Nenhuma | Saída | EQ 7 ou 5 |
| Saída | Entrada | Nenhuma | EQ 6 ou 5 |
| Saída | Saída | Nenhuma | EQ 5 |
| Saída | Entrada | Entrada | EQ 6 ou 5 |
| Saída | Entrada | Saída | EQ 7, 6 ou 5 * |
| Saída | Saída | Entrada | EQ 5 |
| Saída | Saída | Saída | EQ 7 ou 5 |

Obs: Equação 5 para ligação isolada ou com ligação anterior de saída e/ou ligação posterior de entrada, equação 6 para ligação anterior de entrada existente, equação 7 para ligação posterior de saída existente. Usar sempre $P_{FD} = 1,00$ para via de 4 faixas (2/sentido) e equação 4 para via de 8 faixas (4/sentido).

* Quando existem ligações adjacentes de entrada anterior e de saída posterior em vias de 6 faixas (3/sentido), a equação 6 seria usada para considerar o efeito do ramal

anterior se $L_{UP} < L_{EQ6} = \frac{\tilde{q}_U}{0,2329 + 0,000075 \cdot \tilde{q}_F - 0,00025 \cdot \tilde{q}_R}$ (caso contrário seria usada a equação 5) e a equação 3 seria usada para

considerar o efeito da ramal posterior se $L_{DN} < L_{EQ7} = \frac{\tilde{q}_D}{3,77 - 0,000105 \cdot \tilde{q}_F - 0,00121 \cdot \tilde{q}_R}$ (caso contrário seria usada a equação 5). O uso

da equação 5 indica que não há efeito dos ramais adjacentes. Se as equações 6 e 7 tiverem de ser aplicadas (isto é, ambos os ramais adjacentes tiverem influência relevante), recomenda-se adotar o maior valor de P_{FD} entre os previstos pelas equações 6 e 7. Em suma, $P_{FD} = \max\{P_{FD5}, P_{FD6}, P_{FD7}\}$.

⇒ **Casos especiais de egresso:**

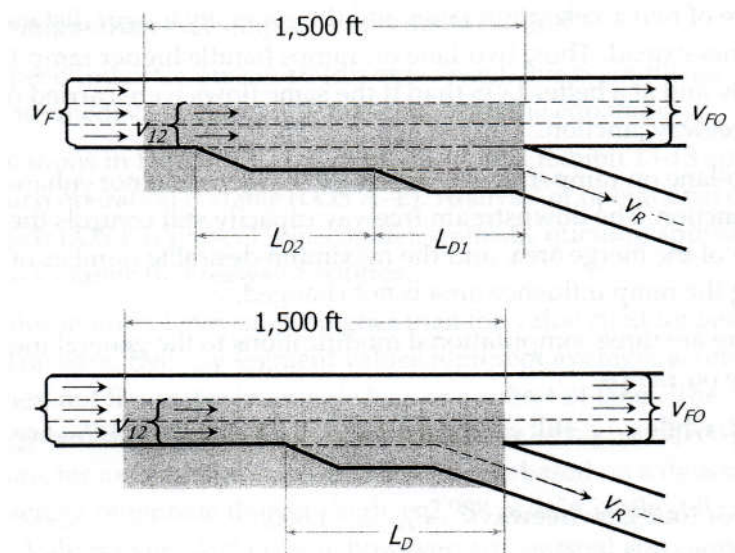
rampas de 2 faixas: L_{Aeff} e L_{deff} (ver Figura 13-15)

Egresso: $L_{Deff} = 2 \cdot L_{D1} + L_{D2}$

$$\tilde{q}_{12} = \tilde{q}_R + (\tilde{q}_F - \tilde{q}_R) \cdot P_{FD}$$

- Para vias expressas de 2 faixas, $P_{FD} = 1,000$.
- Para vias expressas de 3 faixas, $P_{FD} = 0,450$.
- Para vias expressas de 4 faixas, $P_{FD} = 0,260$.

FIGURA 13-15. Geometria Típica de Ramais de Egresso com 2 Faixas - HCM/2010



Obs: Na notação do HCM/2010, o fluxo q é V , a velocidade V é S e a densidade K é D (D também é usado para distância).

áreas de separação (ver Figura 13-19)

1 faixa \Rightarrow 2; $N \Rightarrow N+1$

ou faixas preservadas N

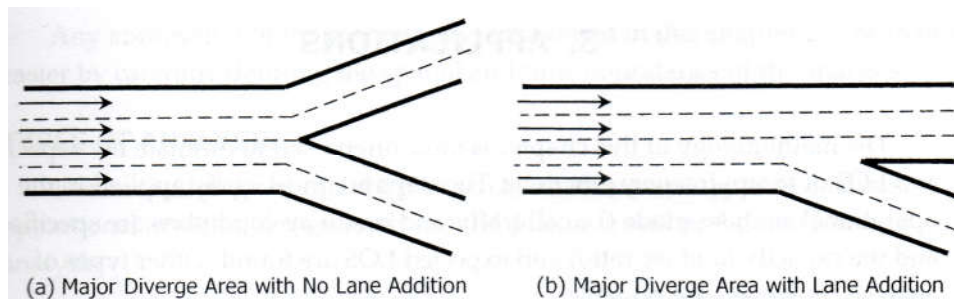
análise das seções que chega e que saem
(despreza o efeito da turbulência)

$\tilde{K} = 0,0106 \cdot \frac{\tilde{q}_F}{N}$ para todas as faixas que chegam

(equivale a $\tilde{V} \cong 94,3\text{km/h}$, velocidade média)

adição de faixas ($N \Rightarrow N+1$): mesmo procedimento
geometria especial (análise específica)

FIGURA 13-19. Exemplos de Separações Principais - HCM/2010



⇒ **Casos especiais: mais de 4 faixas e acesso ou egresso à esquerda**

acesso ou egresso: vias com + 4 faixas: $\bar{q}_4 = q - q_5 \dots$
 rampa do lado esquerdo: $q_{n,n-1} = f \cdot q_{12}$
 no restante, o procedimento de análise é o mesmo ...

TABELA 13-17a. Determinação de q_5 para Ramais de Entrada em Via Expressa de 10 Faixas (5/sentido) – HCM/2010

| Fluxo Total na Via Expressa, q_F (pcph) | Fluxo na faixa 5, q_5 (pcph) |
|---|--------------------------------|
| Ramais de entrada | |
| >8500 | 2500 |
| 7500-8499 | 0.285. q_F |
| 6500-7499 | 0.270. q_F |
| 5500-6499 | 0.240. q_F |
| <5500 | 0.220. q_F |

TABELA 13-17b. Determinação de q_5 para Ramais de Saída em Via Expressa de 10 Faixas (5/sentido) – HCM/2010

| Fluxo Total na Via Expressa, q_F (pcph) | Fluxo na faixa 5, q_5 (pcph) |
|---|--------------------------------|
| Ramais de saída | |
| >7000 | 0.200. q_F |
| 5500-7000 | 0.150. q_F |
| 4000-5499 | 0.100. q_F |
| <4000 | 0 |

TABELA 13-16. Fator de Ajustamento para Ramais à Esquerda – HCM/2010

| Número de Faixas (por sentido) | Fator de Ajustamento para o Fluxo Adjacente | |
|-----------------------------------|---|-------------------|
| | Ramais de acesso | Ramais de egresso |
| 2 | 1,00 | 1,00 |
| 3 | 1,12 | 1,05 |
| 4 | 1,20 | 1,10 |

Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM2010

- ⇒ modelos e procedimentos são essencialmente os mesmos do HCM/2000 ...
- ⇒ mantém principais vantagens dos procedimentos anteriores do HCM 97 a 2000:
 - . reconhece o efeito das variáveis principais, de forma preliminar;
 - . permite estimar variáveis de operação (velocidade e densidade);
 - . distingue distribuição do fluxo e condições de operação nas faixas adjacentes;
 - . transforma demandas em fluxos básicos equivalentes (pico de 15 minutos).
- ⇒ deficiências comuns aos procedimentos anteriores do HCM:
 - . analisa operação para fluxos básicos equivalentes apenas
 - . utiliza equações empíricas sem justificativa teórica clara
 - . não explicita brechas críticas e distribuições de velocidade assumidas.
- ⇒ considera efeito na capacidade de forma preliminar, como nas versões anteriores
- ⇒ ainda há necessidade de validação dos procedimentos (em especial no Brasil) !