

## Procedimento do U.S.HCM/6thEd (2016)

- ⇒ **Recomendações:** entrelaçamento de vias expressas ... também aproximação para pistas coletoras-distribuidoras (C-D) e rodovias comuns de múltiplas faixas ... se não há influência de semáforos (distância maior que 1a2mi ou 1,6a3,2km ...)
- ⇒ **Velocidade de fluxo livre:** estimativa indireta
 
$$\cong V_L + 8\text{km/h}$$
 ( $V_L$  é a velocidade limite, fiscalização policial eventual)
- ⇒ **Tipos de configuração:** classificação dos tipos de entrelaçamento do HCM/2010
  - entrelaçamento com ramais (*ramp weave*) ou entre vias principais (*major weave*) de vias adjacentes (*one-sided*) ou opostas (*two-sided*) (**Figura 13-3,4**)
  - extensão básica ( $L_B$ ) e extensão reduzida ( $L_S$ )=linha seccionada (**Figura 13-1,2**)
  - verificar distância máxima de entrelaçamento (**Tabela 13-11**)
  - (se distância for maior que a máxima, incorporação e separação independentes)
  - área de influência:  $L_B$  mais 150m (500ft) antes e depois ... usual até 750m
- ⇒ **Caracterização:** como entrelaçamento da via principal (F) e ramal de ligação (R)
  - (não entrelaçantes: AC=FF, BD=RR; entrelaçantes: AD=FR, BC=RF)
  - no.de faixas na via principal:  $N_F$ ; no.de faixas na via secundária/ramal:  $N_R$ ;
  - nº mínimo de mudanças de faixa para entrelaçar:  $LC_{RF}$  para BC e  $LC_{FR}$  para AD
  - identifica: fluxos diretos ou não (com 1 e com 2ou+ mudanças de faixa)
  - nº de faixas p/entrelaçar com mínimo ou até 1 mudança faixa:  $N_{WL}$  (**Figura 12-5**)
  - no.de faixas total no entrelaçamento:  $N_T=N_F+N_R=N_{WL}+N_O$  (outras faixas)
  - todos são parâmetros físicos e caracterizam cada tipo de entrelaçamento
  - variável ambiental: densidade de interconexões (não de ramais, entrada/saída)
  - caso especial: entrelaçamento entre vias opostas (usar  $N_{WL}=0$  e  $LC_{RR}$ =efetiva) pela primeira vez, uma recomendação explícita e consistente com LC !
- ⇒ **Tipos de operação:** apenas previsão da demanda por mudança de faixas e apenas para condição de fluxo normal (equações empíricas de previsão)
  - (abandonado conceito de operação restringida e operação não restringida)
- ⇒ **Medida de eficácia:** densidade básica ( $\tilde{K}$ ) de operação: (**Tabela 12-10**)
  - (média do fluxo entrelaçante e do fluxo não entrelaçante)
  - critérios distintos para entrelaçamentos de vias expressas ou para entrelaçamentos de rodovias de múltiplas faixas e pistas auxiliares.
- ⇒ **Capacidade com entrelaçamento:** capacidade total:  $\tilde{K} < 43\text{veq/mi/fx}(27\text{veq/km/fx})$  e capacidade de entrelaçamento não excedida ! (capacidade nas  $N_T$  faixas, não alocada a  $N_F, N_R$ )

⇒ **Procedimentos de análise:** dados iniciais do segmento básico correspondente  
CAF, SAF: fatores de ajustamento por clima, incidentes, tipo de usuário, ...

$$\text{fluxo: } \tilde{q} = \frac{VH}{FPH \cdot f_{VP}}; \text{ razão de fluxo entrelaçante: } VR = \frac{\tilde{q}_w}{\tilde{q}_T} (\tilde{q}_T = \tilde{q}_w + \tilde{q}_{nw} : \text{total})$$

$$1) \text{ entrelaçamento de vias adjacentes: } \tilde{q}_w = \tilde{q}_{RF} + \tilde{q}_{FR} \text{ e } \tilde{q}_{nw} = \tilde{q}_{FF} + \tilde{q}_{RR};$$

$$2) \text{ entrelaçamento entre vias opostas: } \tilde{q}_w = \tilde{q}_{RR} \text{ e } \tilde{q}_{nw} = \tilde{q}_{FF} + \tilde{q}_{RF} + \tilde{q}_{FR}$$

$$\text{capacidade: } \tilde{C} = \min\{\tilde{C}_K, \tilde{C}_W\} \text{ em veq/h, } C = \tilde{C} \cdot f_{VP} \text{ em v/h}$$

$$\tilde{C}_K = N_T \cdot \tilde{C}_{IWL}, \tilde{C}_{IWL} = \tilde{C}_{IFL} - \tilde{\Delta}_{IWL}, \tilde{C}_{IFL} = CAF \cdot \tilde{c}_f, \tilde{c}_f \text{ do segmento básico}$$

$$\tilde{\Delta}_{IWL} = 438,2 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 0,251 \cdot L_S - 119,8 \cdot N_{WL} \text{ (efeito entrelaçamento)}$$

$$L_{MAX} = 1746 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 477 \cdot N_{WL} (\tilde{\Delta}_{IWL} = 0 : L \text{ máxima de influência})$$

$$\tilde{C}_W = \frac{\tilde{C}_{WL}}{VR} (\tilde{C}_{WL} = 2400 \text{ veq/h se } N_{WL} = 2, 3500 \text{ veq/h se } N_{WL} = 3; \text{ ignorar se } 0)$$

$$\text{mudanças de faixa: } LC_T = LC_w + LC_{nw} = LC_{min} + LC_{op} \text{ (obrigatória mais opcional)}$$

$$\text{obrigatória (mínima): } 1) LC_{min} = \tilde{q}_{RF} \cdot LC_{RF} + \tilde{q}_{FR} \cdot LC_{FR}; 2) LC_{min} = \tilde{q}_{RR} \cdot LC_{RR}$$

$$\text{opcional (adicional): } LC_{op} = LC_{ow} + LC_{onw} \text{ (equações empíricas; } \text{impor } \geq 0)$$

$$LC_{ow} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot L_S - 300)^{0,5} \cdot N_T^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot DIK)^{0,8} (LC_{ow} = 0 \text{ se } L_S \leq 92 \text{m}(300 \text{ft}))$$

ID: densidade de interconexões  $\pm 3 \text{mi}$  do ponto médio (DIK por km,  $\pm 4,8 \text{km}$ )

$$LC_{onw} = LC_{nw1} = 0,206 \cdot \tilde{q}_{nw} + 1,78 \cdot L_S - 192,6 \cdot N_T \geq 0, \text{ se } I_{nw} \leq 1300;$$

$$LC_{onw} = LC_{nw2} = 2135 + 0,223 \cdot (\tilde{q}_{nw} - 2000) \geq LC_{nw1}, \text{ se } I_{nw} \geq 1950$$

$$\text{senão } LC_{onw} = LC_{nw1} + \frac{I_{nw} - 1300}{1950 - 1300} \cdot (LC_{nw2} - LC_{nw1}), \text{ sendo } I_{nw} = \frac{3,28 \cdot L_S \cdot 1,6 \cdot DIK \cdot \tilde{q}_{nw}}{10000}$$

$$\text{operação: calcular } \tilde{V}_w = \tilde{V}_{min} + \frac{\tilde{V}_{max} - \tilde{V}_{min}}{1 + I_w}, \text{ com } I_w = 0,226 \cdot \left( \frac{I_{LC}}{3,28} \right)^{0,789}, I_{LC} = \frac{LC_T}{L_S},$$

$$\text{e } \tilde{V}_{nw} = \tilde{V}_{max} - \beta_{LC} \cdot LC_{min} - \beta_{qf} \cdot \frac{\tilde{q}_T}{N_T}, \beta_{LC} = 0,0072, \beta_{qf} = 0,0048, \text{ mi/h}$$

$$\beta_{LC} = 0,0115, \beta_{qf} = 0,0077, \text{ km/h}$$

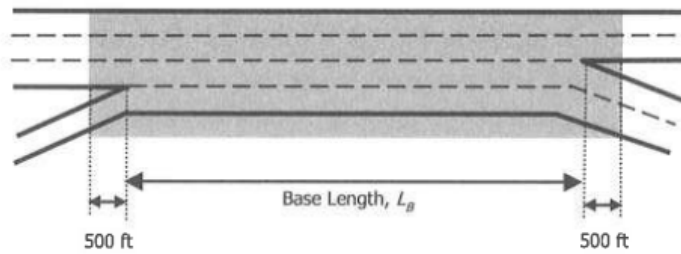
$$\tilde{V}_{min} = 24 \text{ km/h}(15 \text{ mi/h}), \tilde{V}_{max} = SAF \cdot \tilde{V}_{FL}, \tilde{V}_{FL} \text{ do segmento básico}$$

$$\text{velocidade média } \tilde{V} = \frac{\tilde{q}_w + \tilde{q}_{nw}}{\frac{\tilde{q}_w}{\tilde{V}_w} + \frac{\tilde{q}_{nw}}{\tilde{V}_{nw}}} \Rightarrow \text{densidade média } \tilde{K} = \frac{\tilde{q}_T / N}{\tilde{V}}$$

$$\tilde{K} \Rightarrow \text{nível de serviço para fluxo entrelaçante e não entrelaçante}$$

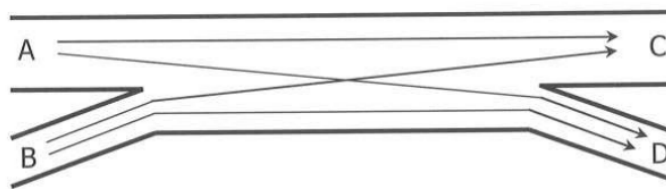
⇒ entrelaçamentos em rodovias de múltiplas faixas e em pistas auxiliares (C-D roads):  
resultados aproximados; critérios específicos de nível de serviço (**Tabela 13-6**)  
pistas auxiliares: medir  $\tilde{V}_{FL}$  (resultados melhores se  $\tilde{V}_{FL}$  igual a 80km/h ou mais ...)

**FIGURA 10-1(c). Área de Influência de Segmento de Entrelaçamento – HCM/6thEd (2016)**

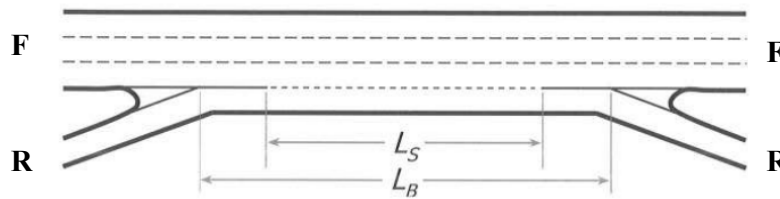


Obs.: Ver extensão máxima da área de influência segundo a Tabela 13-11 (senão, incorporação e separação independentes).

**FIGURA 13-1. Formação de Segmento de Entrelaçamento – HCM/6thEd (2016)**

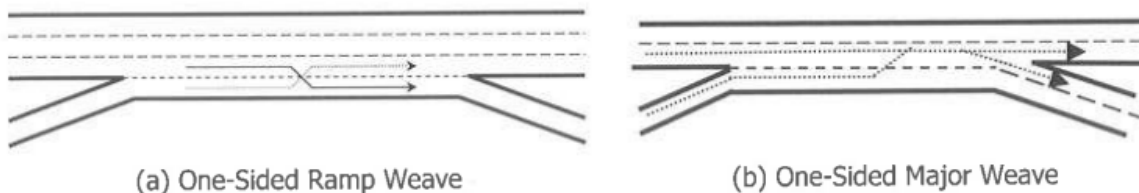


**FIGURA 13-2. Extensão do Segmento de Entrelaçamento – HCM/6thEd (2016)**

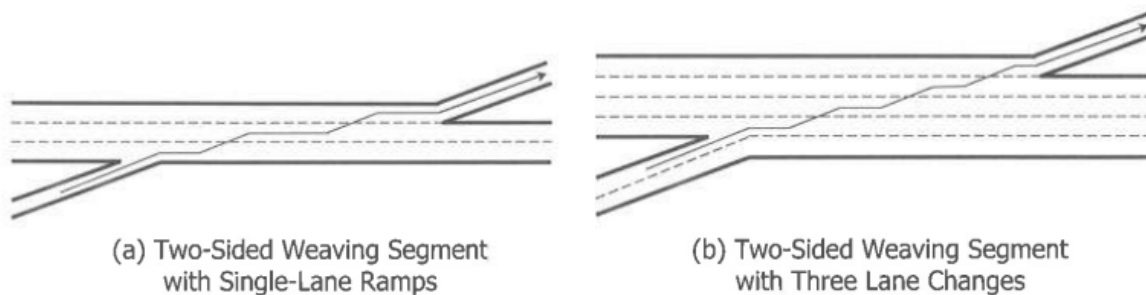


Obs.: Na ausência de informação, pode-se assumir  $L_S=0,77.L_B$  (condições médias).

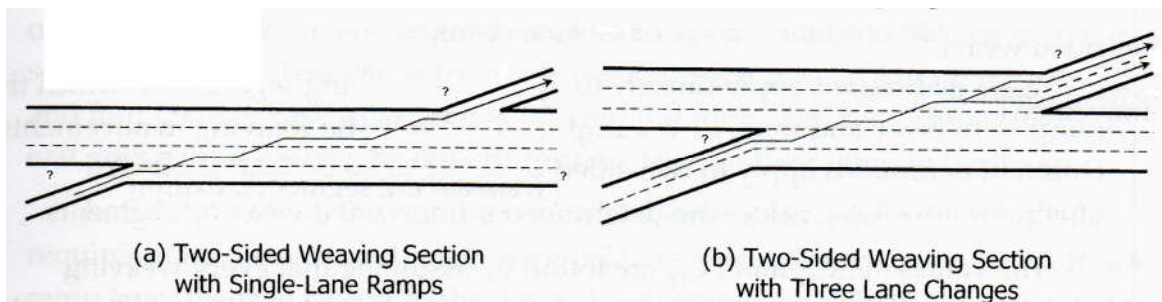
**FIGURA 13-3. Segmento de Entrelaçamento com Vias Adjacentes – HCM/6tEd (2016)**



**FIGURA 13-4. Segmento de Entrelaçamento com Vias Opostas – HCM/6thEd (2016)**



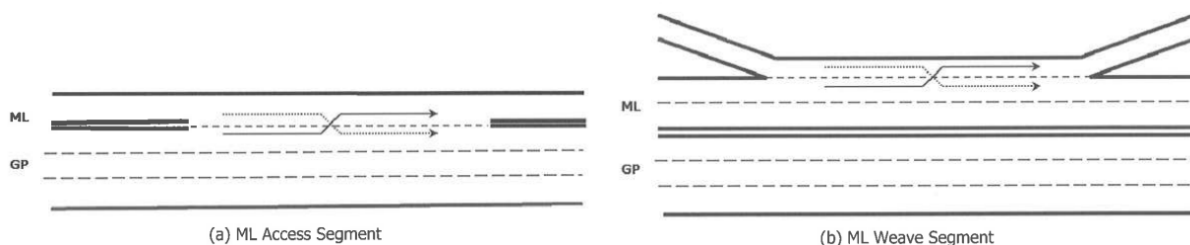
Obs.: exemplos da Figura 13-4 não correspondem a entrelaçamentos (mas sim ramais opostos e adjacentes) ou são configurações pouco usuais (e pouco recomendadas). Ver alterações:



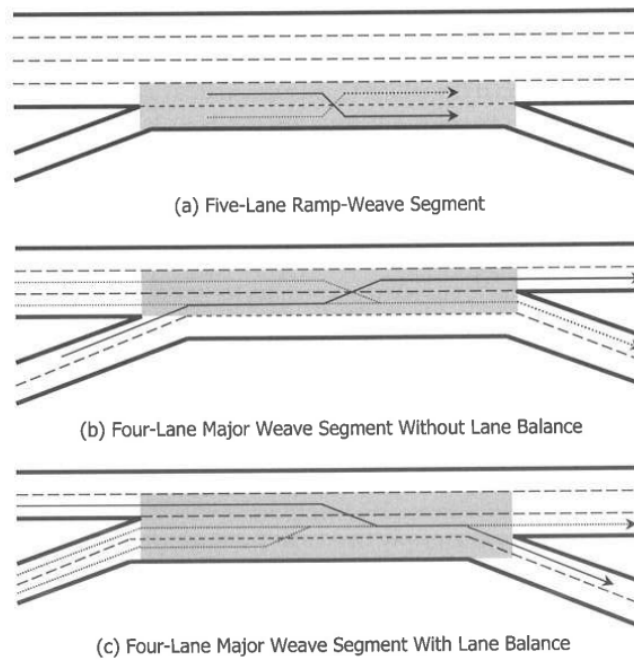
Obs.: Alterações (?) nos esquemas originais introduzidas para configurar entrelaçamentos (não ramais) e exemplos de configurações usuais (as alterações nas configurações de entrada seriam essenciais para caracterizar um entrelaçamento; as alterações de saída são ilustrativas).

( $N_{FF}=3$  e  $LC_{RR}=N_{FF}$  no primeiro exemplo, mas  $N_{FF}=1$  e  $LC_{RR}=N_{FF}+1$  no segundo exemplo)

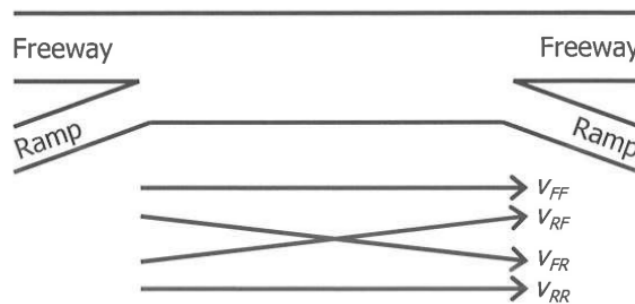
**FIGURA 13-13. Segmento de Entrelaçamento de Faixas de Uso Especial – HCM/6thEd (2016)**



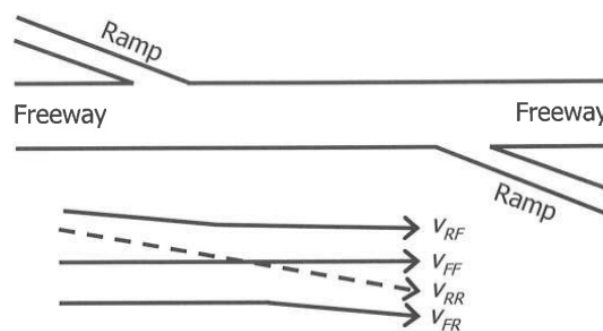
**FIGURA 13-5. Parâmetros dos Segmentos de Entrelaçamento – HCM/6thEd (2016)**



**FIGURA 13-9. Variáveis para Segmentos de Entrelaçamento com Vias Adjacentes – HCM/6thEd (2016)**

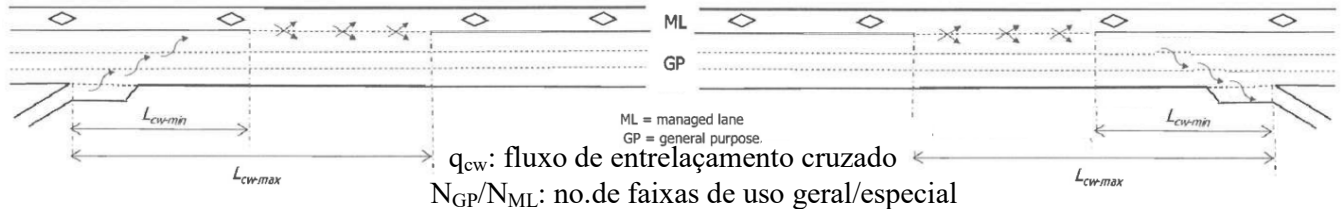


**FIGURA 13-10. Variáveis para Segmentos de Entrelaçamento com Vias Opostas – HCM/6thEd (2016)**



- ⇒ entrelaçamentos múltiplos: decomposição em entrelaçamentos simples ou com incorporações e/ou separações (não indica como fazer composição posterior ...) critério natural seria adicionar mudanças de faixas de segmentos sobre-postos ...
- ⇒ segmentos básicos ou de entrelaçamentos com faixas de uso especial: efeito de entrelaçamento cruzado (*cross-weave*) com acesso/egresso intermitente

**Figura 13-12. Acesso e Egresso de Faixas de Uso Especial – HCM/6thEd (2016)**



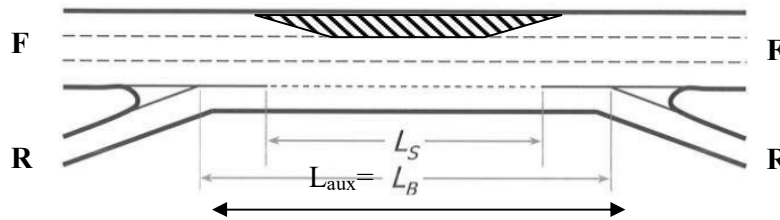
- trecho adjacente: efeito de entrelaçamento cruzado (*cross-weave*)  $CAF = 1 - CRF$   
 $CRF = -0,0897 + 0,0252 \cdot \ln[\tilde{q}_{cw}] - 0,00004767 \cdot L_{cw-min} [m] + 0,002967 \cdot N_{GP} \dots$   
 (potencialmente aplicável a segmentos de ligação ou básicos em  $L_{cw-min}$ )  
 redução da capacidade nas faixas de uso geral fora do entrelaçamento ...
- trecho com acesso/egresso: é uma seção de entrelaçamento usual (**Figura 13-13**)  
 análise considera faixas de uso geral e especial se não há segregação ...  
 distância de entrelaçamento:  $L_B = L_{cw-max} - L_{cw-min}$  (extensão básica=efetiva)  
 (pode ser um segmento de ligação; pode haver segmentos sobre-postos ...)

⇒ segmentos de entrelaçamentos em trechos com obras viárias: configurações especiais

capacidade:  $\tilde{c}_{fwz} = \frac{\tilde{q}_{fDwz}}{1 - \alpha_{wz}}$ ,  $\tilde{q}_{fDwz}$ : fluxo de dissipação de fila,  $\alpha_{wz}$ : perda de capacidade

- fluxo da via principal (FF):  $\tilde{q}_{FF} = \gamma_{FF} \cdot \tilde{C}_{wz}$ ,  $\tilde{C}_{wz} = N_{fwz} \cdot \tilde{c}_{fwz}$ ,  $\gamma_{FF} \leq \beta_{FFm\acute{a}x}$

$\beta_{m\acute{a}x} = \beta_0 + \beta_\delta \cdot \delta_{wz} + \beta_w \cdot VR$ ,  $\gamma_{FF} = \gamma_0 + \gamma_\delta \cdot \delta_{wz} + \gamma_w \cdot VR + \gamma_a \cdot L_{aux}$  (Tabela 25-13)



Entrelaçamento: trecho em obras com configuração 3=>2

- fluxo de saída (FR):  $\tilde{q}_{FR} = \beta_{FR} \cdot C_{wz}$ ,  $\beta_{FR} = \beta_0 + \beta_\delta \cdot \delta_{wz} + \beta_w \cdot VR$  (Tabela 25-14)

**Tabela 25-13,14. Coeficientes dos Modelos de Entrelaçamento em Trechos com Obras Viárias – HCM/6thEd (2016)**

Seção	$\beta_0 / \gamma_0$	$\beta_w / \gamma_w$	$\gamma_a 10^4$ (ft / m)	$\beta_\delta / \gamma_\delta : 2=>1$	$\beta_\delta / \gamma_\delta : 2=>2$	$\beta_\delta / \gamma_\delta : 3=>2$	$\beta_\delta / \gamma_\delta : 4=>3$
montante	1,0023/ 0,8491	-0,3048/-0,4687	0,90956/ 2,98412	-0,1197/-0,0665	0,0105/ 0,0061	0,0085/ 0,0050	0,0000/ 0,0000
jusante	1,0573/ 0,8962	-0,3332/-0,9694	3,05253/10,01486	0,1307/ 0,2702	-0,0623/ 0,0535	0,0494/ 0,1073	0,0000/ 0,0000
saída	0,6162	0,0850	-	-0,2201	0,2082	-0,0551	0,0000

**TABELA 13-6. Nível de Serviço para Seções de Entrelaçamento - HCM/6thEd (2016)**

NS	Máxima Densidade Média em Vias Expressas	Máxima Densidade Média em Rodovias e Pistas Auxiliares*
A	$\leq 10 \text{veq/mi/fx}$ (até $6 \text{veq/km/fx}$ )	$\leq 12 \text{veq/mi/fx}$ (até $8 \text{veq/km/fx}$ )
B	$>10$ a $20 \text{veq/mi/fx}$ ( $>6 - 12 \text{veq/km/fx}$ )	$>12$ a $24 \text{veq/mi/fx}$ ( $>8 - 15 \text{veq/km/fx}$ )
C	$>20$ a $28 \text{veq/mi/fx}$ ( $>12 - 17 \text{veq/km/fx}$ )	$>24$ a $32 \text{veq/mi/fx}$ ( $>15 - 20 \text{veq/km/fx}$ )
D	$>28$ a $35 \text{veq/mi/fx}$ ( $>17 - 22 \text{veq/km/fx}$ )	$>32$ a $36 \text{veq/mi/fx}$ ( $>20 - 23 \text{veq/km/fx}$ )
E	$>35$ a $43 \text{veq/mi/fx}$ ( $>22 - 27 \text{veq/km/fx}$ )	$>36$ a $40 \text{veq/mi/fx}$ ( $>23 - 25 \text{veq/km/fx}$ )
F	Demanda > Capacidade	Demanda > Capacidade

\* Pistas auxiliares são as coletoras/distribuidoras de vias expressas e rodovias (não recomendado para entrelaçamento em vias arteriais).

**TABELA 13-11. Máxima Extensão de Influência de Entrelaçamentos\* - HCM/6thEd (2016)**

VR	NWL=2	NWL=3
0,1	3540ft (1079m)	1974ft (602m)
0,2	4536ft (1383m)	2970ft (905m)
0,3	5584ft (1702m)	4018ft (1225m)
0,4	6681ft (2036m)	5115ft (1559m)
0,5	7826ft (2385m)	6260ft (1908m)
0,6	9019ft (2749m)	7453ft (2272m)
0,7	10256ft (3126m)	8690ft (2649m)
0,8	11538ft (3517m)	9972ft (3039m)

\* Extensões maiores devem ser avaliadas com cautela (dados usados na calibração variaram dentro de um limite de até 2800ft ou 850m)..

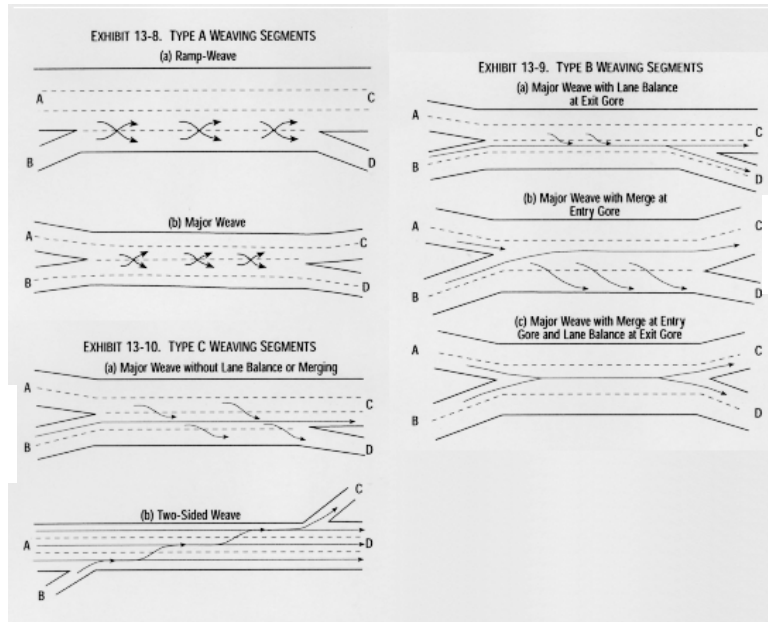


⇒ **Tipos de configuração:** não explicitados (implícito em  $LC_{FR}$  e  $LC_{RF}$  !)

HCM/85,97,2000⇒

$LC_{FR}=1, LC_{RF}=1$

$LC_{FR}=0, LC_{RF}=2$   
 $LC_{FR}=2, LC_{RF}=0$



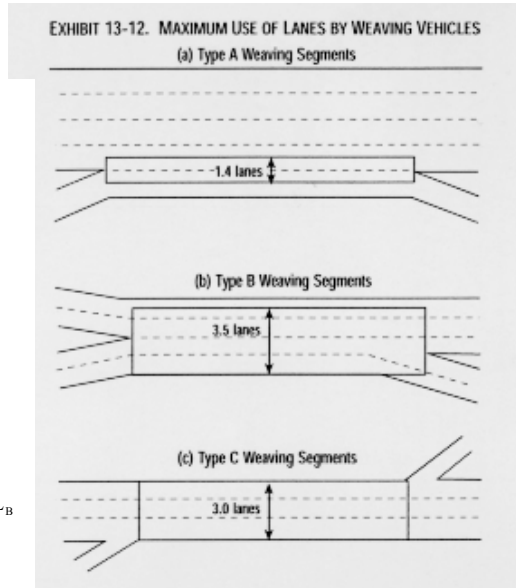
$LC_{FR}=0, LC_{RF}=1$   
 $LC_{FR}=1, LC_{RF}=0$

⇒ **Tipos de operação:** conceito empírico (abandonado no HCM2010,2016), caracteriza a operação segregada (ou não) no entrelaçamento (representaria efeito de  $C_w$  !)

HCM/85,97,2000⇒

implícito nas equações empíricas de cada tipo de configuração (A,B,C):

- $\tilde{C}_{WL} = VR_L \cdot \tilde{q}_T, VR_L = f[N_{WL}, \dots]$
- A:  $N_{WL} = 1,4$  (2 no HCM/2010,16)  
 $VR_L = 0,7162 \left(\frac{N_w}{N}\right)^{L,75} \cdot \tilde{V}_w^{0,767} \cdot L_B$  (V em km/h)
  - B:  $N_{WL} = 3,5$  (3 no HCM/2010,16)  
 $VR_L = 1,4225 \cdot \frac{N_w}{N} - 0,121 + 0,0159 \cdot (\tilde{V}_{mw} - \tilde{V}_w) - \frac{101,8}{L_B}$
  - C:  $N_{WL} = 3,0$  (3 no HCM/2010,16)  
 $VR_L = 21,277 \cdot \frac{N_w}{N} - 16,19 + 0,066 \cdot (\tilde{V}_{mw} - \tilde{V}_w) + 0,0077 \cdot L_B$
- ( $\tilde{Q}_w > \tilde{C}_{WL}$  operação segregada).



no HCM/2010,16 equivaleria a:

- $\tilde{C} = \tilde{C}_K \dots = \tilde{C}_F + \tilde{C}_R$ ;
  - se  $\tilde{Q}_w \leq \tilde{C}_{WL}$  tem-se operação não restringida;
  - se  $\tilde{Q}_w > \tilde{C}_{WL}$  tem-se operação restringida, então pode-se reavaliar velocidades com
- $$I'_w = \frac{35}{15}, \frac{15}{8}, \frac{14}{8} \cdot I_w(A, B, C)$$
- $$\beta'_{LC} = \frac{20}{35}, \frac{10}{20}, \frac{10}{20} \cdot \beta_{LC}(A, B, C)$$
- $$\beta'_{qf} = \frac{20}{35}, \frac{10}{20}, \frac{10}{20} \cdot \beta_{qf}(A, B, C)$$
- (com operação segregada).

⇒ **Método distinto:**

velocidade de fluxo livre no segmento básico correspondente (antes: média dos segmentos básicos anteriores: F e R

$$\tilde{V}_{FL} = \frac{\tilde{q}_F \cdot \tilde{V}_{FLF} + \tilde{q}_R \cdot \tilde{V}_{FLR}}{\tilde{q}_F + \tilde{q}_R} \text{ no entrelaçamento)}$$

análise específica da perda de capacidade no entrelaçamento (mas ainda grosseiro para capacidade de entrelaçamento ... e sem obter a capacidade por via no entrelaçamento)

extensão (básica, total) tradicionalmente limitada a 750m ...

## Comentários sobre o Procedimento do U.S.HCM/6thEd (2016)

- ⇒ mantém procedimento do HCM/2010 (e principais características dos anteriores ...):
  - . reconhece o efeito das variáveis principais e do tipo de configuração;
  - . permite estimar variáveis de operação (velocidade e densidade);
  - . transforma demandas em fluxos básicos equivalentes (pico de 15 minutos).
  - . incorpora fatores de ajuste de velocidade e capacidade dos segmentos básicos
  - . incorpora efeitos de faixas de uso especial e de trechos em obras ...
- ⇒ deficiências comuns aos procedimentos anteriores do HCM:
  - . analisa operação para fluxos básicos equivalentes apenas
  - . utiliza equações empíricas sem justificativa teórica clara
  - . não explicita distribuição dos fluxos por faixa e brechas assumidas
  - . não obtém capacidade e velocidade por via (ou por manobra).
- ⇒ considerável simplificação dos procedimentos anteriores do HCM 85 a 2000:
  - . avalia efeito de geometria e fluxo na densidade e velocidade (turbulência) mas elimina equações por de tipo de configuração (implícito nos parâmetros); elimina distinção de regimes de operação (restringido e não restringido);
  - . permite avaliar o efeito da turbulência sobre a capacidade:
    - capacidade=limite de densidade e de entrelaçamento ...
    - mas não há consistência com análise da operação (ex.: Tabela 2-10)
  - . velocidade de fluxo livre baseada no segmento básico correspondente (no HCM 85 a 2000 era baseada nos segmentos básicos anteriores) inadequado quando os segmentos anteriores são restritivos (comum nos entrelaçamentos gerados por enlaces de interconexões)
- ⇒ discute mais detalhadamente os entrelaçamentos entre vias opostas ...
- ⇒ ainda há necessidade de validação dos procedimentos (em especial no Brasil) !