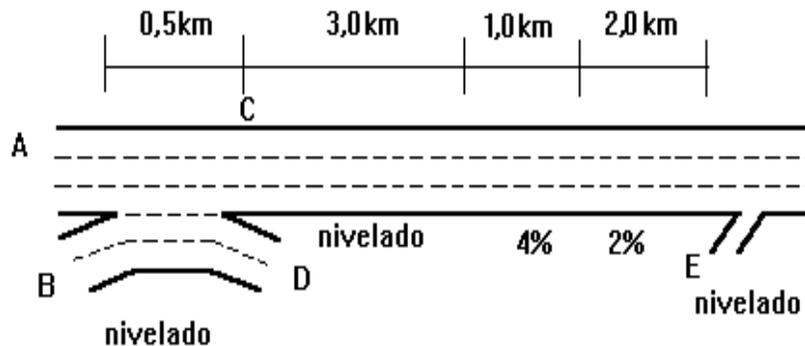


## EXERCÍCIO: BALANCEAMENTO ESTRUTURAL II

Via expressa urbana, com ótimas condições de projeto, em um trecho que envolve uma seção de entrelaçamento, 3 segmentos básicos:

- um trecho em terreno nivelado com 3,0 km;
  - uma rampa ascendente com 4% e 1,0 km;
  - uma rampa ascendente com 2% e 2,0 km;
- e uma ligação (ramal) de acesso (veja o esquema seguinte).



A-C tem 3 faixas e B-D tem 2 faixas (as demais características são as mesmas)

medições para o sub-período de 15 min. crítico do pico da manhã:

- . 1000 veículos em C, 20% vindo de B;
- . 500 veículos em D, 10% vindo de A;
- . 250 veículos em E; cerca de 15% de pesados em todos os casos.

Na situação atual, a seção transversal típica tem 3 faixas de 3,60m (obstruções laterais: guard-rail após acostamento de 2,40m e postes de iluminação no canteiro central, a 0,60m da faixa de rolamento apenas no trecho nivelado e afastados 2,0m nos demais trechos, com alargamento do canteiro central); a seção de entrelaçamento entre A-C e B-D tem uma extensão útil de 300m e o ramal de acesso tem bom padrão de projeto mas sem faixa de aceleração.

Pede-se determinar:

- os fatores equivalentes dos automóveis e caminhões em cada segmento básico as capacidades e níveis de serviço resultantes;
- os níveis de serviço nos trechos de confluência de fluxos e a avaliação global sobre a operação da via e sobre as alternativas para harmonizá-la;
- as condições de operação na hora-pico da manhã para um crescimento de demanda em 25% e as formas de eliminar os problemas observados;
- o impacto de transformar a faixa à esquerda numa faixa de uso especial após o ramal E, admitindo que 25% da demanda na via e no ramal E direcionam-se à faixa especial;
- o efeito na capacidade da via e na operação decorrente de redução efetiva no limite de velocidade de 110 para 90km/h nos segmentos básicos.

## SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

Analisando primeiro os segmentos básicos: velocidade básica de fluxo livre inicial de  $\tilde{V}_{FL0} = 75,4 \text{ mi/h} = 120,6 \text{ km/h}$  (HCM/2000: 110km/h trecho urbano), fatores de correção:

- $F_{LV} = 0$  (da Tabela 11-8, igual ao HCM/2000, largura da via é de 3,60m=12ft);
- $F_{OL} = 0$  (da Tabela 11-9, igual ao HCM/2000, acostamento 2,40m=8ft e obstruções junto ao canteiro central a mais de 0,60m=2ft desprezadas);
- $F_{DR} = 3,22 \cdot \text{TRD}^{0,84} \text{ mph}$  ou  $F_{DR} = 7,65 \cdot \text{DRK}^{0,84} \text{ km/h}$  (densidade de ramais em 6mi=9,6km ao redor do ponto médio, diferente do HCM/2000 que considerava densidade de interconexões com entradas apenas). Trecho com extensão menor que 6mi (9,6km): densidade será estimada como o inverso do espaçamento médio entre "ramais":  $\bar{e} = \frac{0,5+6}{2} = 3,25 \text{ km} \Rightarrow \text{DRK} = \frac{1}{3,25} = 0,31/\text{km} \Rightarrow F_{DR} = 7,65 \cdot 0,31^{0,84} = 2,86 \text{ km/h}$   
ou  $\text{TRD} = \frac{1}{2,03} = 0,49/\text{mi} \Rightarrow F_{DR} = 3,22 \cdot 0,49^{0,84} = 1,79 \text{ mph}$  (seria 0 pelo HCM/2000).

No HCM/1997 (e no HCM/2000), havia ainda a correção para o número de faixas ( $F_N$ ). Embora sejam raras as vias expressas com menos de 4 faixas, restrições podem ocorrer em trechos com 3 ou 2 faixas (mesmo curtos) e seu efeito pode ser relevante.

Portanto, a estimativa da velocidade de fluxo livre

$\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,8 = 73,6 \text{ mi/h} = 117,8 \text{ km/h}$  (HCM/2000:  $\tilde{V}_{FL} = 110 - 4,8 = 105,2 \text{ km/h}$ , apenas com a correção pelo número reduzido de faixas, para 3 faixas). HCM/2010 não recomenda interpolar entre as curvas de operação: seria usado  $\tilde{V}_{FL} = 75 \text{ mi/h}$  e capacidade por faixa de  $\tilde{c}_f \cong 2400 \text{ veq/h}$ , para operação expressa (HCM/2000:  $\tilde{c}_f \cong 1800 + 5 \cdot 105,2 = 2326 \text{ veq/h}$ ). Melhor interpolar curvas (i.e.  $\tilde{V}_{FL}$  e  $\tilde{c}_f$  tb).

Nota-se que a revisão do HCM/2010 prevê uma operação melhor (a ser validada).

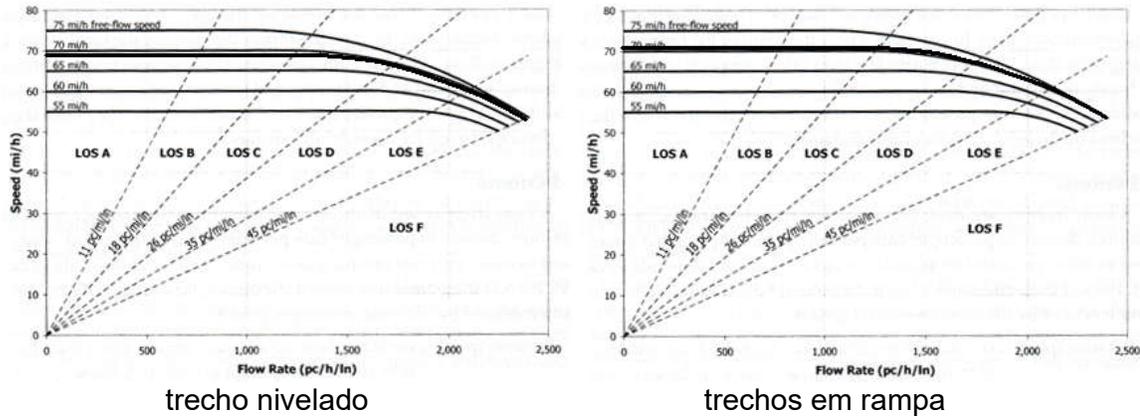
Hipótese mais conservativa: efeito da obstrução à esquerda e do número de faixas:

- obstrução à esquerda (postes à esquerda à 0,60m): redução adicional  $F_{OL} = 1,6 \text{ mi/h} = 2,6 \text{ km/h}$  (igual a 0,60m=2ft à direita), no trecho nivelado apenas;
- no.de faixas restrito: manter correção anterior  $F_N = 3,0 \text{ mi/h} = 4,8 \text{ km/h}$  para 3 faixas.

Portanto, a estimativa da velocidade de fluxo livre

$\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,8 - 3,0 = 70,6 \text{ mi/h} = 113,0 \text{ km/h}$  (HCM/2000:  $\tilde{V}_{FL} = 110 - 4,8 = 105,2 \text{ km/h}$ ) nos aclives e  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,8 - 3,0 - 1,6 = 69,0 \text{ mi/h} = 110,4 \text{ km/h}$  (HCM/2000:  $\tilde{V}_{FL} = 105,2 - 2,6 = 102,6 \text{ km/h}$ ) no trecho nivelado. Sem interpolar, ambos os casos

usariam  $\tilde{V}_{FL} = 70\text{mi/h}$  e capacidade por faixa de  $\tilde{c}_f \cong 2400\text{veq/h}$ . Preferindo interpolar, as curvas de desempenho, para fluxo básico de autos, estão mostradas abaixo:



As capacidades básicas por faixa seriam  $\tilde{c}_f \cong 2400\text{veq/h}$  nos aclives (HCM/2000:  $\tilde{c}_f \cong 1800 + 5.105,2 = 2326\text{veq/h}$ ) e  $\tilde{c}_f \cong 2390\text{veq/h}$  (HCM/2000:  $\tilde{c}_f \cong 1800 + 5.102,6 = 2313\text{veq/h}$ ) no trecho nivelado, para operação expressa.

Número de faixas é 3 nos segmentos 1, 2 e 3, capacidade é  $\tilde{C} = 3.2390 = 7170\text{veq/h}$  (HCM/2000:  $3.2313 = 6939\text{veq/h}$ ) no trecho nivelado (segmento 1) e

$\tilde{C} = 3.2400 = 7200\text{veq/h}$  (HCM/2000:  $3.2326 = 6998\text{veq/h}$ ) nos aclives (segmentos 2 e 3). Sem as hipóteses conservativas, os valores seriam naturalmente maiores.

Resumindo as estimativas de velocidade de fluxo livre pelos diferentes critérios tem-se: HCM/2010:

trecho	N	$\tilde{V}_{FL0}$	$\tilde{\Delta}_{Lf}$	$\tilde{\Delta}_{Of}$	$\tilde{\Delta}_{DR}$	$\tilde{\Delta}_{Nf}$	$\tilde{V}_{FL}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$
1	3	120,6	0,0	0,0	2,9	0,0	117,8	2400	7200
2	3	120,6	0,0	0,0	2,9	0,0	117,8	2400	7200
3	3	120,6	0,0	0,0	2,9	0,0	117,8	2400	7200

HCM/2000,1997:

trecho	N	$\tilde{V}_{FL0}$	$\tilde{\Delta}_{Lf}$	$\tilde{\Delta}_{Of}$	$\tilde{\Delta}_{DR}$	$\tilde{\Delta}_{Nf}$	$\tilde{V}_{FL}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$
1	3	110	0,0	0,0	2,9	4,8	105,2	2313	6939
2	3	110	0,0	0,0	2,9	4,8	105,2	2326	6978
3	3	110	0,0	0,0	2,9	4,8	105,2	2326	6978

HCM/2010,Ajustado:

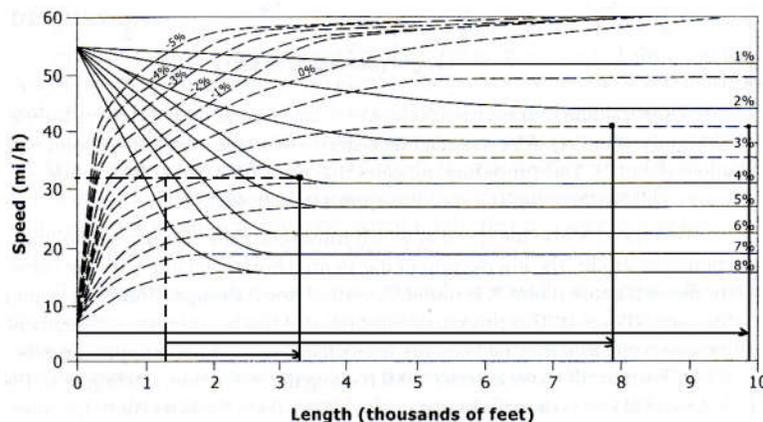
trecho	N	$\tilde{V}_{FL0}$	$\tilde{\Delta}_{Lf}$	$\tilde{\Delta}_{Of}$	$\tilde{\Delta}_{DR}$	$\tilde{\Delta}_{Nf}$	$\tilde{V}_{FL}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$
1	3	120,6	0,0	2,6	2,9	4,8	110,4	2390	7170
2	3	120,6	0,0	0,0	2,9	4,8	113,0	2400	7200
3	3	120,6	0,0	0,0	2,9	4,8	113,0	2400	7200

Efeito dos veículos pesados: terreno nivelado, fator equivalente é 1,5 na Tabela 11-10; trecho inicial da rampa ascendente, Tabela 11-11 pode ser utilizada, com inclinação 4% e extensão 1,0km=0,625mi, fator equivalente é 2,0 (15% de caminhões típicos).

Os fatores equivalentes são iguais aos fornecidos no HCM/2000. Segundo o HCM/97, o fator equivalente na rampa inicial seria a 4,5 (seria 5,0 para 1/2 mi no HCM/85).

Terceiro segmento básico: é preciso calcular a perda de velocidade acumulada e a rampa equivalente do trecho composto (operação é afetada pelo trecho anterior):

- a velocidade inicial dos veículos pesados após um trecho nivelado extenso é admitida como sendo igual a 55mi/h=88km/h para caminhões típicos;
- na primeira rampa ascendente (4% e 1,0km=3300ft), a perda de velocidade dos veículos pesados na curva de desempenho para 4% vai até 32mi/h=52km/h;
- na segunda rampa (2% e 2,0 km =6600ft) deve ser usada a curva de desempenho com 2%;
- em trecho ascendente com 2%, os veículos pesados poderiam manter uma velocidade máxima de 45mi/h=72 km/h (maior que 32mi/h=58 km/h);
- portanto, esta velocidade de 32mi/h=58 km/h estaria na curva de aceleração em uma rampa de 2%, a cerca de 1300ft=0,4 km do início do movimento;
- adicionando o trecho seguinte (2%, 2,0km=6150ft), que corresponderia a uma distância fictícia de 1300+6600=7900ft=2,4km na curva correspondente à rampa de 2% em aceleração, tem-se um ganho de velocidade de 32mi/h=52km/h para 42mi/h=67km/h (ao final dos 9900ft=1,0+2,0=3,0 km);
- considerando a extensão real do trecho (3,0km=9900ft), o efeito acumulado da perda de velocidade de 55mi/h=88km/h para 42mi/h=67km/h corresponde a uma rampa com a cive equivalente de cerca de 2,5% (interpolado entre as curvas de desaceleração de 2% e 3%).



Fator equivalente obtido utilizando a Tabela 11-11: 2,0 para 3km=1,875mi e 2,5%.

A curva de operação dos veículos pesados é a mesma fornecida no HCM/2000 (é levemente distinta na versão métrica) e os resultados são similares. Segundo o HCM/97, a rampa equivalente seria 2,3% e o fator equivalente seria  $e=2,6$ , obtido por interpolação entre a rampa de 2% e 3% (pelo HCM/85 seria 4,1, ainda maior).

Demanda observada, corresponde ao fluxo  $q=1000/0,25= 4000v/h$ . Portanto, os cálculos de capacidade e nível de serviço podem ser resumidos como segue:

HCM/2010,Ajustado:

trecho	N	$e_{vp}$	$\tilde{e}$	$f_{vp}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$	C	q	$\tilde{q}$	$\tilde{q}_f$	NS
1	3	1,5	1,075	0,930	2390	7170	6668	4000	4301	1434	C
2	3	2,0	1,150	0,870	2400	7200	6264	4000	4598	1533	C
3	3	2,0	1,150	0,870	2400	7200	6264	4000	4598	1533	C

HCM/2000:

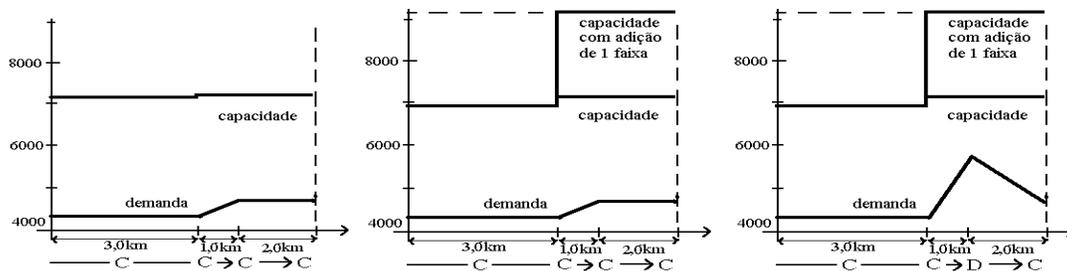
trecho	N	$e_{vp}$	$\tilde{e}$	$f_{vp}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$	C	q	$\tilde{q}$	$\tilde{q}_f$	NS
1	3	1,5	1,075	0,930	2313	6939	6453	4000	4301	1434	C
2	3	2,0	1,150	0,870	2326	6978	6071	4000	4598	1533	C
3	3	2,0	1,150	0,870	2326	6978	6071	4000	4598	1533	C

HCM/1997:

trecho	N	$e_{vp}$	$\tilde{e}$	$f_{vp}$	$\tilde{c}_f$	$\tilde{C}$	C	q	$\tilde{q}$	$\tilde{q}_f$	NS
1	3	1,5	1,075	0,930	2313	6939	6453	4000	4301	1434	C
2	3	4,5	1,525	0,656	2326	6978	4576	4000	6100	2033	D
3	3	2,6	1,240	0,807	2326	6978	5627	4000	4960	1653	C

Portanto, a principal diferença na avaliação decorre da alteração nos valores recomendados para os fatores equivalentes introduzidos no HCM/2000 e HCM/2010.

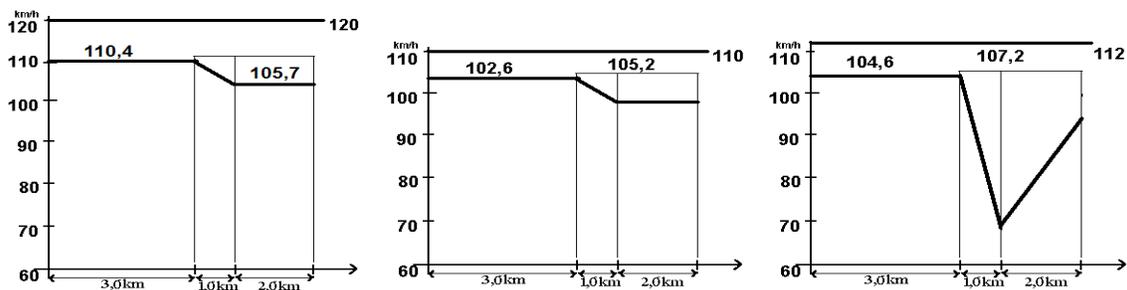
Baseado nos dados do HCM/2010, HCM/2000 e HCM/97, adotando como unidade  $vq/h$ , os perfis de fluxo e capacidade seriam representados como a seguir:



Para estimar a densidade e velocidade reais: decomposição de  $q = f_{vp} \cdot \tilde{q}$  em

$$f_{vp} = g_{vp} \cdot h_{vp} \text{ e } \tilde{q} = \tilde{K} \cdot \tilde{V} \text{ expresso como } q = (g_{vp} \cdot \tilde{K}) (h_{vp} \cdot \tilde{V}) = K \cdot V .$$

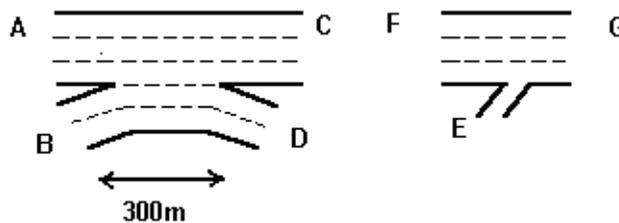
Aplicando este procedimento para cada segmento básico, tem-se:



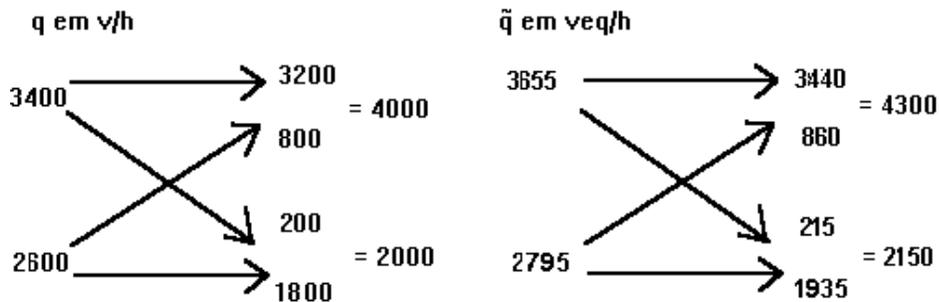
Magnitude das diferenças mostra a importância de validar os procedimentos recomendados pelo HCM2010, HCM2000 ou HCM/97 no Brasil. O uso das tabelas de fatores equivalentes do HCM/97 é mais prudente (como será feito na parte final).

A seguir analisam-se os segmentos com entrada e saída de fluxo que são normalmente mais críticos para a operação de vias expressas:

- o segmento de entrelaçamento no início do trecho;
- o ramal de acesso no final do trecho.



Para analisar a seção de entrelaçamento, transformar os volumes em fluxo básico (veq/h). No caso, admitindo  $f_{VP} = 0,93$  para as vias A-C e B-D, tem-se:



Considerando o trecho total do entrelaçamento (N=5faixas) e condições ideais, tem-se:

- velocidade de fluxo livre inicial:  $\tilde{V}_{FL} = 75,4mi/h = 120,6km/h$  (pelo U.S.HCM2000  $\tilde{V}_{FL0} = 70mi/h \cong 110 km/h$  para via expressa urbana);

- nas mesmas condições do trecho nivelado:  $F_{LV} = 0$  para faixas de 3,60m=12ft;  $F_{OL} = 0$  para acostamento 2,40m=8ft à direita, sem obstruções junto ao canteiro central, que é eliminado no entrelaçamento;

$\bar{e} = \frac{0,5 + 6}{2} = 3,25km \Rightarrow DRK = \frac{1}{3,25} = 0,31/km \Rightarrow F_{DR} = 7,65 \cdot 0,31^{0,84} = 2,86km/h$  (todos os efeitos nulos pelo U.S.HCM2000, mesmo considerando a correção pelo número de faixas do U.S.HCM/2000, por considerar a seção transversal com 5 faixas);

- então a velocidade de fluxo livre é  $\tilde{\tilde{V}}_{FL} = 120,6 - 2,86 = 117,74km/h$  (com o HCM/2000 seria  $\bar{V}_{FL} = 110km/h$  se fosse usado este procedimento).

Alternativamente, considerando os trechos anteriores e admitindo condições ideais no segmento com entrelaçamento mas incorporando um efeito do número de faixas restrito (do U.S.HCM/2000) no U.S.HCM/2010, tem-se:

- na via A-C: 3 faixas  $F_N = 3,0 \text{ mi/h} = 4,8 \text{ km/h}$ ,  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 3,0 = 72,4 \text{ mi/h} = 115,8 \text{ km/h}$

(HCM/2000:  $\tilde{V}_{FL} = 110 - 4,8 = 105,2 \text{ km/h}$ );

- na via B-D: 2 faixas  $F_N = 4,5 \text{ mi/h} = 7,3 \text{ km/h}$ ,  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 4,5 = 70,9 \text{ mi/h} = 113,4 \text{ km/h}$

(HCM/2000:  $\tilde{V}_{FL} = 110 - 7,3 = 102,7 \text{ km/h}$ );

- velocidade de fluxo livre ponderada:  $\tilde{V}_{FL} = \frac{115,8 \cdot 3655 + 113,4 \cdot 2795}{3655 + 2795} = 114,76 \text{ km/h}$

(HCM/2000 seria  $\bar{V}_{FL} = \frac{105,2 \cdot 3655 + 102,7 \cdot 2795}{3655 + 2795} = 104,12 \text{ km/h}$ ).

A seguir, opta-se pela segunda estimativa.

No HCM2010, o tipo de configuração é definido pelos parâmetros do entrelaçamento:

- fluxo entrelaçante:  $215 + 860 = 1075 \text{ veq/h}$ ; fluxo não-entrelaçante:

$3440 + 1935 = 5375 \text{ veq/h}$ ; fluxo total:  $1075 + 5375 = 6450 \text{ veq/h}$ ;

- razão de fluxo entrelaçante:  $VR = \frac{\tilde{q}_w}{\tilde{q}_T} = \frac{1075}{6450} = 0,1667$ ; taxa de entrelaçamento:

$$R = \frac{\tilde{q}_{w2}}{\tilde{q}_w} = \frac{215}{1075} = 0,20;$$

- número mínimo de mudanças de faixa para entrelaçar:  $LC_{RF}=1$  para BC e  $LC_{FR}=1$  para AD; número de faixas que permitem entrelaçamento (com até 1 mudança de faixa):  $N_{WL}=2$ ; número total de faixas (das duas vias):  $N_T=N_F+N_R=3+2=5$ ;

- fluxo médio por faixa no entrelaçamento:  $\frac{6450}{5} = 1290 \text{ veq/h/ fx}$ ;

- extensão básica  $L_B$  (entre a confluência e a divergência das pistas de rolamento):  $L_B=300 \text{ m}=984 \text{ ft}$ ; extensão reduzida  $L_S$  (com linha divisória de faixas seccionada): na falta de informação sobre a sinalização, adotar  $L_S=0,77 \cdot L_B=0,77 \cdot 300=231 \text{ m}=758 \text{ ft}$ .

Modelo do U.S.HCM/2010: obtém variáveis de operação a partir de estimativas da demanda de manobras de mudança de faixas total  $LC_T = LC_w + LC_{nw} = LC_{min} + LC_{op}$ .

Demanda mínima de mudanças de faixa:  $LC_{min} = \tilde{q}_{RF} \cdot LC_{RF} + \tilde{q}_{FR} \cdot LC_{FR}$ , tendo-se, no caso,  $LC_{min} = 860.1 + 215.1 = 1075 \text{mf/h}$ .

Demanda de mudanças de faixa opcionais  $LC_{op} = LC_{ow} + LC_{onw}$ , equações empíricas, função da densidade de interconexões ID (ao invés da densidade de ramais RD) em 6mi(=9,6km) do ponto médio do entrelaçamento:

- admitindo que o entrelaçamento é isolado:  $ID = 0$ ;

- para os fluxos entrelaçantes:

$$LC_{ow} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot L_s - 300)^{0,5} \cdot N_T^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot ID)^{0,8} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot 231 - 300)^{0,5} \cdot 5^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot 0)^{0,8} = 208,6 \text{mf/h}$$

- para os fluxos não entrelaçantes:

$$LC_{onw} = LC_{nw1} + \frac{I_{nw} - 1300}{1950 - 1300} \cdot (LC_{nw2} - LC_{nw1}), \text{ onde } I_{nw} = \frac{3,28 \cdot L_s \cdot 1,6 \cdot ID \cdot \tilde{q}_{nw}}{10000} \text{ com}$$

$$1300 \leq I_{nw} \leq 1950, \text{ sendo } LC_{nw1} = 0,206 \cdot \tilde{q}_{nw} + 1,78 \cdot L_s - 192,6 \cdot N_T \text{ e}$$

$$LC_{nw2} = 2135 + 0,223 \cdot (\tilde{q}_{nw} - 2000) \text{ (com L em m; ID por km); com } ID = 0, \text{ tem-se } I_{nw} = 0 \text{ (assume-se então } I_{nw} = 1300) \text{ e.}$$

$$LC_{onw} = LC_{nw1} = 0,206 \cdot \tilde{q}_{nw} + 1,78 \cdot L_s - 192,6 \cdot N_T = 0,206 \cdot 5375 + 1,78 \cdot 231 - 192,6 \cdot 5 = 555,4 \text{mf/h}.$$

- demanda opcional de mudanças de faixas:  $LC_{op} = 208,6 + 555,4 = 764,0 \text{mf/h}$ .

Demanda total de mudança de faixas:  $LC_T = 1075 + 764 = 1839 \text{mf/h}$ .

Velocidade dos fluxos entrelaçantes e não-entrelaçantes: estimativas empíricas:

- para os fluxos entrelaçantes,  $\tilde{V}_w = \tilde{V}_{min} + \frac{\tilde{V}_{max} - \tilde{V}_{min}}{1 + I_w}$  com  $\tilde{V}_{min} = 15 \text{mi/h} = 24 \text{km/h}$  e

$$\tilde{V}_{max} = \tilde{V}_{FL} = 114,8 \text{km/h} = 71,8 \text{mi/h}, \text{ onde } I_w = 0,226 \cdot \left( \frac{I_{LC}}{3,28} \right)^{0,789} \text{ com}$$

$$I_{LC} = \frac{LC_T}{L_s} = \frac{1839}{231} = 7,96 \text{mf/h/m}, \text{ ou seja, } I_w = 0,226 \cdot \left( \frac{7,96}{3,28} \right)^{0,789} = 0,4549 \text{ e}$$

$$\tilde{V}_w = 24 + \frac{114,8 - 24}{1 + 0,4549} = 86,5 \text{km/h} = 54,0 \text{mi/h};$$

- para os fluxos não-entrelaçantes, única estimativa para ambos os fluxos não-entrelaçantes agregados (AC e BD), como

$$\tilde{V}_{nw} = \tilde{V}_{FL} - 0,0115 \cdot LC_{min} - 0,0077 \cdot \frac{\tilde{q}_T}{N_T} = 114,8 - 0,0115 \cdot 1075 - 0,0077 \cdot \frac{6450}{5} = 92,5 \text{km/h} = 57,8 \text{mi/h}$$

(deveria ser distinta para AC e BD).

$$\text{Velocidade média } \tilde{V} = \frac{\tilde{q}_w + \tilde{q}_{nw}}{\tilde{V}_w + \tilde{V}_{nw}} = \frac{1075 + 5375}{1075 + 5375} = 91,4 \text{km/h} = 57,2 \text{mi/h};$$

$$\text{Densidade média de } \tilde{K} = \frac{\tilde{q}_T}{\tilde{V}} = \frac{1290}{91,4} = 14,1 \text{ veq/km.fx} = 22,6 \text{ veq/mi.fx}$$

(que corresponde ao nível de serviço C, com base na Tabela 12-10).

Portanto, não seria necessário alterar a seção de entrelaçamento. Conclusões com o HCM2000 são similares. Também no HCM/97 (ou no HCM/85) mas menos robustas.

Verificação de capacidade também foi aprimorada:  $C = \tilde{C} \cdot f_{vp} \cdot f_p$  (mantendo o fator de tipo de população); capacidade básica é obtida por duas condições, de densidade e de entrelaçamento, como  $\tilde{C} = \min\{\tilde{C}_K, \tilde{C}_W\}$ :

- condição de densidade:  $\tilde{C}_K = N_T \cdot \tilde{C}_{IWL}$  onde  $\tilde{C}_{IWL} = \tilde{C}_{IFL} - \tilde{\Delta}_{IWL}$ , sendo  $\tilde{C}_{IFL}$  a

capacidade normal do segmento básico correspondente (para  $\tilde{V}_{FL} = 114,8 \text{ km/h} = 71,8 \text{ mi/h}$ , ter-se-ia então  $\tilde{C}_{IFL} = 2400 \text{ veq/h.fx}$ ) e  $\tilde{\Delta}_{IWL}$  a redução

devida à turbulência gerada pelo entrelaçamento, estimada empiricamente por

$$\tilde{\Delta}_{IWL} = 438,2 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 0,251 \cdot L_S - 119,8 \cdot N_{WL} = 438,2 \cdot (1 + 0,1667)^{1,6} - 0,251 \cdot 231 - 119,8 \cdot 2 = 263,2 \text{ veq/h.fx}$$

(a condição  $\tilde{\Delta}_{IWL} = 0$  é utilizada para estimar uma distância máxima de influência do entrelaçamento por  $L_{MAX} = 1746 \cdot (1 + VR)^{1,6} - 477 \cdot N_{WL} = 1746 \cdot (1 + 0,1667)^{1,6} - 477 \cdot 2 = 1280 \text{ m}$ , que também poderia ser obtido por interpolação da Tabela 12-9); com

$$\tilde{C}_{IWL} = \tilde{C}_{IFL} - \tilde{\Delta}_{IWL} = 2400 - 263,2 = 2136,8 \text{ veq/h.fx} \text{ tem-se } \tilde{C}_K = 5 \cdot 2136,8 = 10684 \text{ veq/h}.$$

- condição de entrelaçamento:  $\tilde{C}_W = \frac{\tilde{C}_{WL}}{VR}$ , com base na capacidade máxima de

entrelaçamento determinada empiricamente ( $\tilde{C}_{WL} = 2400 \text{ veq/h}$  se  $N_{WL} = 2$ ,  $3500 \text{ veq/h}$  se

$N_{WL} = 3$ ); no caso,  $N_{WL} = 2$  e  $\tilde{C}_W = \frac{2400}{0,1667} = 14397 \text{ veq/h}$ .

Portanto,  $\tilde{C} = \min\{\tilde{C}_K, \tilde{C}_W\} = 10684 \text{ veq/h}$  (para ambas as vias do entrelaçamento).

Assumindo usuários habituais ( $f_p = 1$ ), com  $f_{vp} = 0,93$ , chega-se a

$$C = 10684 \cdot 0,93 \cdot 1 = 9936 \text{ v/h} \text{ (para ambas as vias do entrelaçamento).}$$

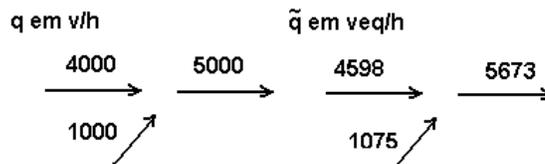
Critério potencialmente melhor que das versões anteriores mas ainda insuficiente (ignora o conceito de operação restringida, anteriormente distinguido).

Seção com ramal de ligação (incorporação com ramais). Demais elementos de entrada e saída estão a mais de 450m, considerar ramal de acesso isolado, em via com 3 faixas/sentido: equação 1 (ver Tabela 13-6).

Na via principal, condições do final da segunda rampa para a via expressa:  $f_{VP} = 0,87$  (poderia ser usado  $f_{VP} = 0,807$  obtido com o U.S.HCM/97).

O fluxo vindo de E é igual a  $250/0,25=1000v/h$ , equivale a  $\tilde{q}_R = \frac{1000}{0,930.1} = 1075veq/h$

admitindo o mesmo equivalente e a mesma proporção de veículos pesados (15%).



Volume nas faixas laterais (1 e 2) imediatamente antes da ligação de acesso:

$$P_{FM} = 0,5775 + 0,000092.L_A = 0,5775 \therefore \tilde{q}_{i2} = p_{FM} \cdot \tilde{q}_F = 0,5775 \cdot 4598 = 2655veq/h.$$

considerando a inexistência de faixa de aceleração e o fluxo básico de 4598 veq/h no final da segunda rampa, e a densidade resultante é

$$\tilde{K}_{f12} = 3,402 + 0,00456 \cdot \tilde{q}_R + 0,0048 \cdot \tilde{q}_{i2} - 0,01278 \cdot L_A = 21,05veq/km/fx = 33,7veq/mi/fx.$$

corresponde, segundo a Tabela 13-2, ao nível de serviço D.

Seção posterior à ligação expressa,  $\tilde{q}_{FO} = 4598 + 1075 = 5673 \frac{veq}{h} = 1891 \frac{veq}{h \cdot fx}$ , nível de serviço D (admitindo segmento básico  $\tilde{V}_{FL} = 69,0mi/h = 110,4 km/h$ ).

Adição importante no HCM2010 e HCM2000: modelos preliminares para estimativa das velocidades nas faixas com influência direta dos ramais (Tabela 13-11 e 12).

No caso em análise, um ramal de entrada em faixa simples com  $\tilde{q}_R = 1075veq/h$  em uma via de 3 faixas com  $\tilde{V}_{FL} = 110,4km/h$ ,  $\tilde{q}_{in} = 4598veq/h$ ,  $\tilde{q}_{i2} = 2655veq/h$ ,  $\tilde{q}_{R12} = 3730veq/h$ ,  $\tilde{q}_3 = 1943veq/h$  e  $\tilde{q}_{out} = 5673veq/h$ , tem-se:

$$M_S = 0,321 + 0,0039 \cdot e^{\left(\frac{\tilde{q}_{R12}}{1000}\right)} - 0,004 \cdot \left(\frac{L_A \cdot \tilde{V}_{FR}}{1000}\right) = 0,48 \text{ e } \tilde{V}_R = \tilde{V}_{FF} - (\tilde{V}_{FF} - 67) \cdot M_S = 89,6km/h$$

para as faixas com influência direta dos ramais (as faixas 1 e 2),

$$\tilde{q}_{oA} = 1943veq/h/fx \text{ e } \tilde{V}_o = \tilde{V}_{FF} - 0,0058 \cdot (\tilde{q}_{oA} - 500) = 102,0km/h$$

para as demais faixas (a faixa 3, no caso analisado).

$$\text{Portanto } \tilde{V} = \frac{3730 + 1943}{\frac{3730}{89,6} + \frac{1943}{102,0}} = 93,5km/h \text{ e } \tilde{K} = \frac{5673}{93,5} = 60,68veq/km = 20,23veq/km/fx.$$

Também corresponde ao nível de serviço D. Este procedimento é teoricamente preferível mas teria de ser melhor validado empiricamente.

Portanto, pelo HCM2010, também não seria necessário alterar a configuração. O procedimento é essencialmente igual no HCM2000 e HCM/97. HCM/85 é simplificado

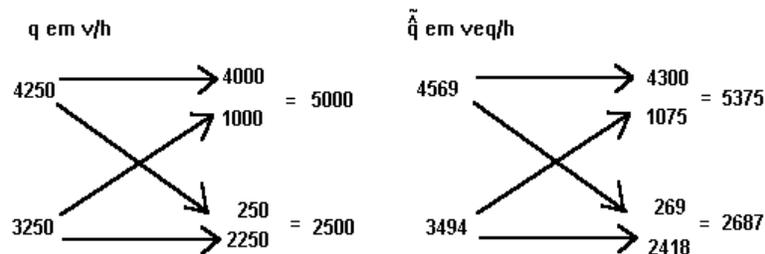
Em termos globais, a situação pode ser considerada admissível, operação atual esconde, aspectos que deverão manifestar-se na medida que a demanda aumente.

Cenário (futuro) com sobre-demanda:  $q_p = \frac{1,25 \cdot 1000}{0,25} = 5000 \text{ v/h}$

Admitindo fator de hora-pico de 0,85, obtém-se  $q_n = \frac{0,85 \cdot 5000 - 1,25 \cdot 1000}{0,75} = 4000 \text{ v/h}$

A demanda nos períodos fora-pico é igual à atual e, convenientemente, todos os cálculos feitos para a situação atual servem para os períodos fora-pico no cenário.

Primeiro, a seção de entrelaçamento:



Fluxo total passa a 8062 veq/h, o fluxo entrelaçante para 1075+269=1344 veq/h (ainda menor que 2800 veq/h, o limite recomendado para a configuração A), mesma a razão de fluxo (de 0,1667) e a taxa de entrelaçamento (de 20% de veículos vindos de B).

Estimativa de capacidade seria a mesma:  $\tilde{C} = 10684 \text{ veq/h}$  e  $C = 9936 \text{ v/h}$  (para ambas as vias do entrelaçamento), ainda suficiente (a mesma conclusão seria obtida com os procedimentos das versões anteriores).

Demanda mínima de mudanças de faixa:  $LC_{\min} = 1075 \cdot 1 + 269 \cdot 1 = 1344 \text{ mf/h}$ .

Para os fluxos entrelaçantes, admitindo entrelaçamento é isolado (ID = 0):

$$LC_{ow} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot L_s - 300)^{0,5} \cdot N_T^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot ID)^{0,8} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot 231 - 300)^{0,5} \cdot 5^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot 0)^{0,8} = 208,6 \text{ mf/h}$$

(note que é independente da demanda).

Para os fluxos não entrelaçantes, novamente

$$LC_{onw} = LC_{nwl} = 0,206 \cdot \tilde{q}_{nw} + 1,78 \cdot L_s - 192,6 \cdot N_T = 0,206 \cdot 6718 + 1,78 \cdot 231 - 192,6 \cdot 5 = 832,1 \text{ mf/h}$$

(majorada pelo aumento do fluxo não-entrelaçante).

Portanto,  $LC_{op} = 208,6 + 832,1 = 1040,7 \text{ mf/h}$  e  $LC_T = 1344 + 1041 = 2385 \text{ mf/h}$ .

Com  $\tilde{V}_{\min} = 15 \text{ mi/h} = 24 \text{ km/h}$  e  $\tilde{V}_{\max} = \tilde{V}_{FL} = 114,8 \text{ km/h} = 71,8 \text{ mi/h}$ , tem-se:

$$- I_{LC} = \frac{LC_T}{L_s} = \frac{2385}{231} = 10,32 \text{ mf/h/m}, \quad I_w = 0,226 \cdot \left( \frac{I_{LC}}{3,28} \right)^{0,789} = 0,226 \cdot \left( \frac{10,32}{3,28} \right)^{0,789} = 0,5585,$$

$$\tilde{V}_w = \tilde{V}_{\min} + \frac{\tilde{V}_{\max} - \tilde{V}_{\min}}{1 + I_w} = 24 + \frac{114,8 - 24}{1 + 0,5585} = 82,3 \text{ km/h} = 51,4 \text{ mi/h}, \text{ e}$$

$$\tilde{V}_{nw} = \tilde{V}_{FL} - 0,0115.LC_{min} - 0,0077 \cdot \frac{\tilde{q}_T}{N_T} = 114,8 - 0,0115 \cdot 1344 - 0,0077 \cdot \frac{8062}{5} = 86,9 \text{ km/h} = 54,3 \text{ mi/h}$$

Portanto,  $\tilde{V} = \frac{\tilde{q}_w + \tilde{q}_{nw}}{\tilde{V}_w + \tilde{V}_{nw}} = \frac{1344 + 6718}{82,3 + 86,9} = 86,1 \text{ km/h} = 53,8 \text{ mi/h}$ ,

$$\tilde{K} = \frac{\tilde{q}_T / N}{\tilde{V}} = \frac{8062 / 5}{86,1} = 18,7 \text{ veq/km.fx} = 29,9 \text{ veq/mi.fx}$$

e o nível de serviço é D (o mesmo nível de serviço seria obtido com os procedimentos das versões anteriores).

Ainda não seria necessário alterar a geometria da seção de entrelaçamento..

Ainda não seria necessário, portanto, alterar a geometria da seção de entrelaçamento (isso decorre da extensão favorável de 300m).

Para os segmentos básicos, com a avaliação baseada no HCM2010, a demanda majorada corresponde a 5376veq/h no trecho nivelado e 5747veq/h em ambas os aclives. No trecho nivelado tem-se  $\tilde{q}_f = 1792 \text{ veq/h/fx}$  e o nível de serviço é D e, em ambos os aclives, tem-se  $\tilde{q}_f = 1916 \text{ veq/h/fx}$  e o nível de serviço é D.

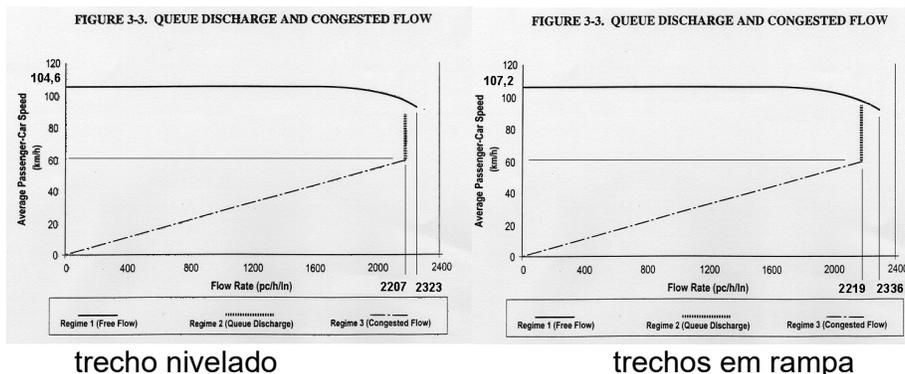
A situação ainda considerada aceitável, se a estimativa do HCM2000 for admitida.

Com o HCM/97, a situação traria sobre-demanda ( $Q = 5000 \text{ v/h}$  e  $C = 4656 \text{ v/h}$ ).

Mesmo com a capacidade básica avaliada pelo HCM/2010 ( $\tilde{C} \cong 3.2400 = 7200 \text{ veq/h}$ ), admitir os fatores equivalentes recomendados pelo U.S.HCM/97 traria a previsão de um gargalo no segundo trecho ( $f_{VP} = 0,656 \Rightarrow \tilde{q}_f = \frac{5000}{0,656} = 7622 \text{ veq/h}$ ).

Indicações para extrapolar a curva de operação da via: redução da capacidade em 5% a 10%, velocidade de 40 a 60 km/h no início da fila, aproximação linear para a variação da velocidade com o fluxo em regime de fluxo forçado.

No caso em análise, para o HCM/97, admitindo 5% de redução de capacidade e velocidade no escoamento livre da fila a 60 km/h, a curva de operação estendida seria:



No primeira active, escoamento livre da fila com 2219 veq/h por faixa (com a velocidade admitida de 60 km/h) corresponde a 1456 v/h (e a velocidade de 42,6 km/h e densidade por faixa de 34,2 v/km ou densidade de 37,0 veq/km por faixa).

Trecho anterior, em regime congestionado: fluxo por faixa escoado de 1456 v/h/fx corresponde a um fluxo básico por faixa de 1566 veq/h/fx, velocidade básica e real de 44 km/h e densidade por faixa no congestionamento seria, então, de 33,1v/km/fx (ou 35,6 veq/km/fx). A densidade em todas as faixas seria 99,3v/km (ou 106,8veq/km).

Trecho não congestionado: fluxo total de 5000 v/h, ou 1667 v/h por faixa, corresponde a 1792 veq/h por faixa, com uma velocidade básica e real de 104 km/h, densidade por faixa seria de 16,0 v/km (17,2 veq/km) e densidade total de 48,0 v/km, nas 3 faixas).

Velocidade de propagação do congestionamento e extensão atingida em 15 minutos:

$$v_o = \frac{\Delta q}{\Delta K} = \frac{4368 - 5000}{99,3 - 48,0} = -12,3 \text{ km/h} \quad \text{e} \quad x_o = -12,3 \cdot 0,25 = 3,1 \text{ km},$$

que atingiria a seção de entrelaçamento (que está a 3,0 km do primeiro active).

Velocidade de recuperação do congestionamento, quando a demanda reduz-se para 4000 v/h (isto é, para um fluxo de 1333 v/h/fx ou de 1433,7 veq/h por faixa) com velocidade de operação correspondente, em regime normal, a 104,6 km/h, densidade real seria de 12,7v/km/fx ou 38,2 v/km (nas 3 faixas), seria:

$$v_r = \frac{\Delta q}{\Delta K} = \frac{4368 - 4000}{99,3 - 38,2} = 6,02 \text{ km/h}$$

(o que implica em um tempo de recuperação de 0,51 h ou 31 minutos).

Nesta avaliação com base no HCM/97, haveria a necessidade de melhorar a operação no primeiro através da adição de uma nova faixa, reduzindo o canteiro, o acostamento e, eventualmente, estreitando as faixas (larguras até 3,30m e, mesmo 3,0m) ou deslocando os postes de iluminação e/ou os *guard-rails* para ampliação a seção.

Largura disponível entre os postes de iluminação e os *guard-rails* é

$$L = 2,0 + 3 \cdot 3,6 + 2,4 = 15,2 \text{ m}.$$

Reduzindo o afastamento dos postes de iluminação para 0,60m (como no trecho nivelado) e o acostamento para 1,80m (para evitar o efeito de obstrução lateral à direita), a largura útil é  $L_u = 1,4 + 3 \cdot 3,6 + 0,6 = 12,8 \text{ m}$  e a largura média das faixas 3,20m.

Considerando o efeito das obstruções laterais à esquerda, conservativamente, tem-se:

$$\tilde{V}_{FL} = 112 - 5,6 - 1,3 - 2,4 - 0 = 102,7 \text{ km/h}$$

$$\tilde{C}_f = 2313 \text{ veq/h/fx}, \quad \tilde{C} = 9254 \text{ veq/h} \quad \text{e} \quad C = 6070 \text{ v/h}$$

eliminando-se, então, o gargalo de capacidade no topo do active.

Esta alteração é recomendada apenas com a análise baseada no HCM/97.

Análise do trecho com o ramal de acesso teria duas situações: com o gargalo, a demanda adiante reduzida; sem o gargalo, o fluxo seria de 5000 v/h (pior). Fluxo básico de 5748 veq/h no final da segunda rampa com nova demanda de 5000v/h

Mantendo situação física atual (3 faixas, inexistência de faixa de aceleração), , teria o volume nas faixas laterais (1 e 2) estimado como:

$$P_{FM} = 0,5775 + 0,000092.L_A = 0,5775 \therefore \tilde{q}_{l2} = p_{FM} \cdot \tilde{q}_F = 0,5775 \cdot 5748 = 3319 \text{veq/h}.$$

Admitindo que o mesmo crescimento para a demanda na ligação de acesso tem-se

$$\tilde{q}_R = \frac{1250}{0,930.1} = 1344 \text{veq/h}, \text{ e a densidade básica correspondente seria avaliada como:}$$

$\tilde{K}_{f12} = 3,402 + 0,00456 \cdot \tilde{q}_R + 0,0048 \cdot \tilde{q}_{l2} - 0,01278 \cdot L_A = 25,5 \text{veq/km/fx} = 40,8 \text{veq/mi/fx}$   
 que corresponderia, segundo a Tabela 25-4, ao nível de serviço F (que indica saturação, dado que a densidade máxima é de 22 veq/h/fx, sem saturação).

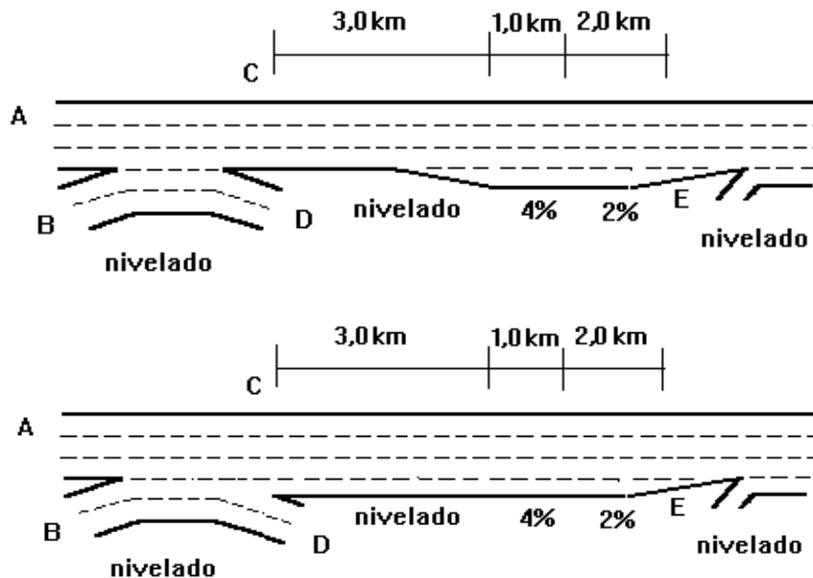
Na seção posterior à ligação expressa, a demanda é

$\tilde{q}_{FO} = 5748 + 1344 = 7092 \frac{\text{veq}}{\text{h}} = 2364 \frac{\text{veq}}{\text{h.fx}}$ , que superaria a capacidade do segmento, exceto na hipótese mais otimista com dados do HCM2010.

Ponderando ambos os motivos, admite-se a formação de um gargalo de capacidade.

Com a avaliação baseada no HCM2000, o resultado seria basicamente o mesmo. Com o HCM/97 a avaliação seria similar mas pior (há tb gargalo posterior).

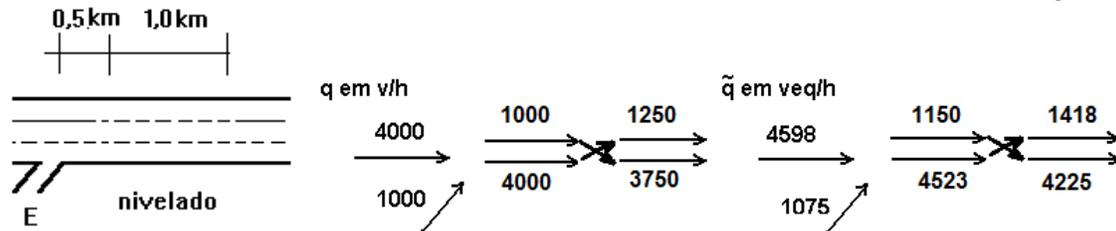
Conclusão, deve-se adicionar uma faixa de entrada livre no acesso e eventualmente adicionar uma faixa no primeiro aclive, conforme os esquemas abaixo:



Introdução da faixa de uso especial: objetivos mais amplos que os da harmonização da operação do tráfego na via; estudos de maior amplitude.

Análise a seguir: somente o impacto no tráfego para cenário de captura de 25% da demanda (adendo de 2015, incorporado ao HCM/2010). Expectativa: operação seja melhor nas faixas de uso especial e pior nas faixas de uso geral mas aceitável.

Faixa de uso especial deve ser implantada no trecho após o ramal E: opção mais simples e econômica: uma única faixa, com divisão em nível por linhas contínuas de proibição de transposição, intercaladas com trechos demarcados por linhas seccionadas em que as entradas e saídas de veículos são permitidas, como a seguir:



Primeira questão: classificação da seção proposta. Na regulamentação brasileira não há a distinção de obrigatoriedade das linhas contínuas simples (não compulsória na recomendação do U.S.MUTCD) ou duplas (compulsórias); há um grau considerável de desrespeito à sinalização na ausência fiscalização policial ou eletrônica. O segmento poderia ser considerado um trecho com divisão em nível (no aspecto legal, com acesso intermitente) ou um trecho com acesso contínuo (em termos operacionais, se o grau de desrespeito for alto). Adotada primeira opção: divisão em nível com 1 faixa.

Segunda questão: previsão das velocidades de fluxo livre (HCM2010 é pouco detalhado; sugere procedimento normal aplicado a cada grupo de faixas).

Nas faixas de uso geral (as 2 faixas à direita, ignorando obstruções à esquerda) e especial (faixa à esquerda, ignorando acessos e obstruções à direita), previsão inicial:

- uso geral:  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,8 = 73,6 \text{ mi/h} = 117,8 \text{ km/h}$

- uso especial:  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 \text{ mi/h} = 120,6 \text{ km/h}$

(na ausência de efeitos de limites de velocidade). Com hipóteses conservativas:

- uso geral:  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,8 - 4,5 = 69,1 \text{ mi/h} = 110,6 \text{ km/h}$

- uso especial:  $\tilde{V}_{FL} = 75,4 - 1,6 - 4,5 = 69,3 \text{ mi/h} = 111,5 \text{ km/h}$

(será adotado  $\tilde{V}_{FL} = 70 \text{ mi/h} = 112 \text{ km/h}$  em ambas).

Agora deve-se considerar os efeitos locais da presença das faixas de uso especial:

- o efeito de entrelaçamento cruzado na seção com o ramal de entrada E;
- o efeito de fricção na faixa de uso geral do congestionamento das faixas de uso geral.

Deve-se também avaliar os segmentos com a separação da faixa especial e com o entrelaçamento no trecho com acesso/egresso à faixa especial (linha seccionada).

A análise da separação de faixas: segmentos básicos nas vias (faixas) receptoras (admitindo que a separação ocorre em um trecho logo antes do ramal de entrada E):

- a densidade nas faixas de chegada procedimentos usuais ou

$$\tilde{K}_f = 0,0106 \cdot \frac{\tilde{q}_F}{N} (\text{veq/km/ fx}): \tilde{K}_f = 0,0106 \cdot \frac{5673}{3} = 20,04 \text{veq/km/ fx (nível de serviço D);}$$

- capacidade após a separação nas faixas de uso geral e de uso especial (básico):

$$\text{. uso geral: } \tilde{c}_f = 2400 \text{veq/h/ fx} \Rightarrow \tilde{C} = 2.2400 = 4800 \text{veq/h}$$

$$\text{. uso especial: } \tilde{c}_f = 1650 \text{veq/h/ fx} \Rightarrow \tilde{C} = 1650 \text{veq/h}$$

(usando a Tabela 38-14 para divisão em nível 1 faixa; seria  $\tilde{c}_f = 1750 \text{veq/h/ fx} \Rightarrow \tilde{C} = 1750 \text{veq/h}$  na Tabela 38-12 para acesso contínuo);

- mantendo os fatores equivalentes para terreno nivelado, tem-se:

$$\text{. uso geral: } f_{vp} = 0,930 \text{veq/v} \Rightarrow C = 0,930.4800 = 4464,0 \text{v/h}$$

$$\text{. uso especial: } f_{vp} = 0,930 \text{veq/v} \Rightarrow C = 0,930.1650 = 1534,5 \text{v/h}$$

(admitida mesma composição de tráfego e fator equivalente para terreno nivelado).

Na situação atual (sem o crescimento de demanda, com 3 faixas e sem faixa de aceleração), segmento com ramal de entrada E:

- agora  $q=3448 \text{veq/h}$  em 2 faixas de uso geral na via principal, antes da entrada do ramal E, trivialmente  $\tilde{q}_{12} = 3448 \text{veq/h}$ ,  $\tilde{q}_R = 1075 \text{veq/h}$ ;

-  $\tilde{K}_{12} = 3,402 + 0,00456.1075 + 0,0048.3448 - 0,01278.L_A = 24,85 \text{veq/km/ fx}$  (22veq/kmfx

para nível de serviço D),  $M_s = 0,321 + 0,0039 \cdot e^{\left(\frac{4523}{1000}\right)} - 0,004 \cdot \left(\frac{L_A \cdot \tilde{V}_{FR}}{1000}\right) = 0,68$ ,

$\tilde{V}_F = \tilde{V}_R = \tilde{V}_{FF} - (\tilde{V}_{FF} - 67)M_s = 112 - (112 - 67)0,68 = 81,4 \text{km/h}$  (mínimo 102km/h para 22veq/km/ fx) e  $\tilde{K} = \frac{4523}{81,4} = 55,57 \text{veq/km} = 27,78 \text{veq/km/ fx}$  (nível de serviço E).

Pelo menos a provisão de uma faixa de aceleração com mais de 225m seria recomendada (melhor adição de faixa de entrada na via receptora com o ramal E).

Com a introdução da faixa especial à esquerda atraindo a demanda de 250v/h (ou 268veq/h do ramal E), efeito de entrelaçamento cruzado:

- reduz capacidade no segmento após o ramal de entrada E de

$$\text{CRF} = \frac{-8,957 + 2,52 \cdot \ln[268] - 0,004767 \cdot 500 + 0,2967 \cdot 2}{100} = 0,0334$$

( $\tilde{C} = (1 - 0,0334).4800 = 4639,6 \text{veq/h}$ ,  $C = (1 - 0,0334).4464,0 = 4314,8 \text{v/h}$ , ainda suficiente).

Densidade nas faixas de uso geral superar o limite de 22veq/km/ fx (o limite do nível de serviço E no segmento com o ramal de entrada), efeito de fricção na faixa de uso especial, para  $\tilde{q}_f = 1150 \text{veq/h/ fx}$ , no segmento com o ramal de entrada E:

$$\tilde{V} = 112 - 3,2 - 0,001232 \cdot (1150 - 600)^{1,4} - 0,00002336 \cdot (1150 - 600)^2 = 93,3 \text{km/h}$$

Não há efeito previsto de redução de capacidade (o valor adotado é conservativo).

Operação do entrelaçamento no segmento de acesso/egresso à faixa de uso especial:

- extensão de 1000m ( $L_B = L_S = 1000\text{m}$ ), apenas fluxo de entrada ( $250\text{v/h} = 268\text{veq/h}$ ),  
 $\tilde{q}_w = 268\text{veq/h}$ ,  $\tilde{q}_T = 5673\text{veq/h}$ ,  $\tilde{q}_{nw} = 5673 - 268 = 5405\text{veq/h}$  obtendo-se

$$VR = \frac{268}{5673} = 4,72\% \text{ e } \frac{\tilde{q}_T}{N} = \frac{5673}{3} = 1891\text{veq/h/fx}, \text{ com } LC_{FR} = 1, LC_{RF} = 1, N_{WL} = 2;$$

- adotando novamente  $\tilde{V}_{FL} = 70\text{mi/h} = 112\text{km/h}$  (3 faixas):  $\tilde{c}_{IWL} = 2400\text{veq/h/fx}$ ,  
 $\tilde{\Delta}_{IWL} = 0$  (porque  $L = 1000\text{m} > L_{MAX} = 1746 \cdot (1 + 0,0472)^{1,6} - 477,2 = 926\text{m}$ ) e

$$\tilde{C}_K = 3 \cdot 2400 = 7200\text{veq/h} \text{ (} \tilde{C}_{WL} = 2400\text{veq/h para } N_{WL} = 2 \text{ e } \tilde{C}_w = \frac{2400}{0,0472} = 50847\text{veq/h)}$$

-  $LC_{min} = 0,1 + 268 \cdot 1 = 268\text{mf/h}$  e, admitindo novamente  $DIK = 0$  (entrelaçamento isolado),  
 com  $LC_{ow} = 0,39 \cdot (3,28 \cdot 1000 - 300)^{0,5} \cdot 3^2 \cdot (1 + 1,6 \cdot 0)^{0,8} = 191,6\text{mf/h}$  e

$$LC_{onw} = LC_{nw1} = 0,206 \cdot 5405 + 1,78 \cdot 1000 - 192,6 \cdot 3 = 2315,6\text{mf/h}, \text{ obtém-se}$$

$$LC_T = 268 + 191,6 + 2315,6 = 2775,2\text{mf/h}, \quad I_{LC} = \frac{2775,2}{1000} = 2,78,$$

$$I_w = 0,226 \cdot \left(\frac{2,78}{3,28}\right)^{0,789} = 0,1981, \quad \tilde{V}_w = 24 + \frac{112 - 24}{1 + 0,1981} = 97,5\text{km/h para o fluxo entrelaçante};$$

- fluxo não entrelaçante, obtém-se  $\tilde{V}_{nw} = 112 - 0,0115 \cdot 268 - 0,0077 \cdot 1891 = 94,4\text{km/h}$   
 (menor que  $\tilde{V}_w$ , potencialmente inconsistente, também boa velocidade de operação);

$$\text{- ambos, tem-se } \tilde{K} = \frac{268}{97,5} + \frac{5405}{94,4} = 60,0\text{veq/km} \text{ e } \tilde{V} = \frac{5673}{60,0} = 94,5\text{km/h (mas o nível de}$$

serviço também passa a D porque  $\tilde{K}_f = \frac{60,0}{3} = 20,0\text{veq/km/fx}$  no entrelaçamento).

Para  $\tilde{q}_f = 1418\text{veq/h/fx}$  após o segmento de acesso/egresso: sem efeito de fricção:

$$\tilde{V} = 112 - 3,2 - 0,001232 \cdot (1418 - 600)^{1,4} = 94,1\text{km/h}$$

Novamente não há efeito previsto de redução de capacidade.

Em resumo, as conclusões são similares às obtidas sem a implantação da faixa de uso especial mas a condição de operação tem uma piora prevista. O ponto mais delicado é novamente a necessidade da faixa adicional junto ao ramal de entrada E.