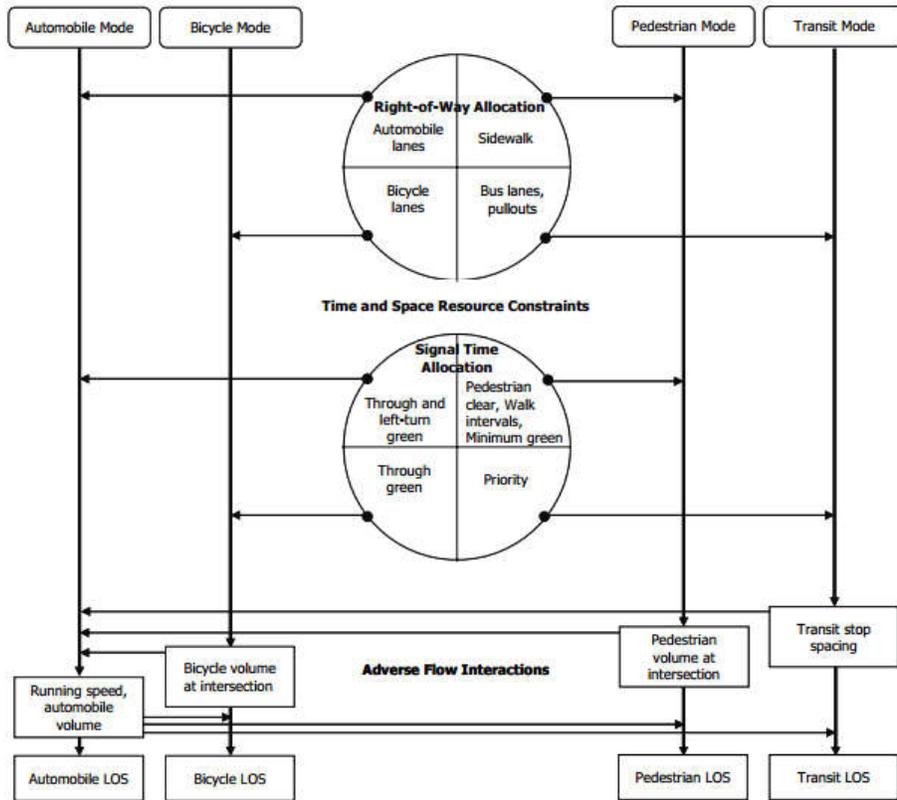


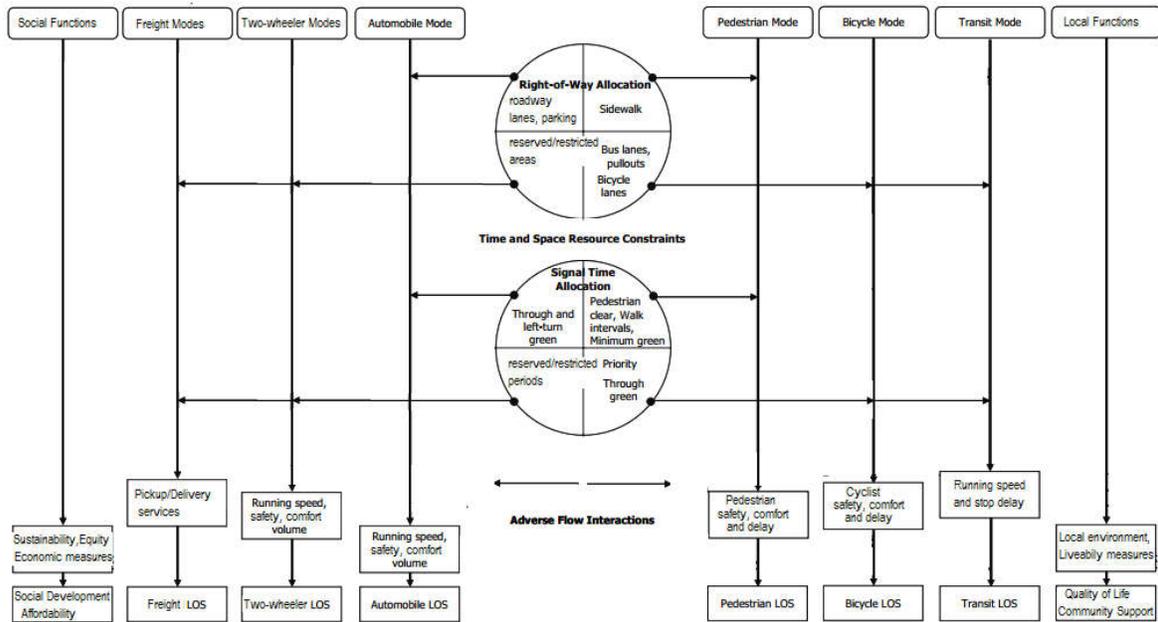
Nível de Serviço em Vias Urbanas no U.S.HCM/6thEd (2016)

- ⇒ Enfoque multimodal com medidas de qualidade percebida (como no HCM2010)
(fonte alternativa e inspiradora: *QLOS Handbook*, DoT, Florida, USA)
- ⇒ Avaliações com diferentes pontos de vista: auto, pedestre, ciclista; e transporte público
introdução da avaliação com base nas notas de qualidade percebida (*LOS Score*)
(incorporam aspectos relevantes mas com modelos incipientes, pouco validados,
formulados de forma empírica, sem base conceitual clara e uniforme de análise)
- ⇒ Segmento: integra avaliação do trecho (*link*) com a interseção no limite, nó (*node*) ...
(tipicamente, extensão de pelo menos 250ft (75m) antes da linha de retenção)
(para segmentos menores indica a análise das interseções em interconexões !)
- ⇒ Autos: baseado na Velocidade Média de Viagem (como % da Velocidade Básica Livre)
e na Razão Demanda/Capacidade (X =taxa de solicitação da capacidade)
 - avaliação da qualidade percebida é um aspecto complementar da análise para autos;
 - procedimento preliminar avalia ajustes na medida de demanda (incluindo O/D na via)
 - avalia também a existência de bloqueio por fila (não é aplicável; subdividir período).
 - suplementado pela análise de regularidade/confiabilidade em vias urbanas (de 2015).
- ⇒ Pedestres: baseado na Nota de Nível de Serviço (qualidade de serviço percebida)
e no Espaço Médio por Pedestre em Circulação (inverso da densidade média)
 - avaliação do espaço médio em espera é um aspecto não incorporado para pedestres;
- ⇒ Ciclistas: baseado na Nota de Nível de Serviço (qualidade de serviço percebida)
 - avaliação da densidade em circulação é um aspecto não incorporado para ciclistas;
 - avaliação do espaço médio em espera é um aspecto não incorporado para ciclistas;
- ⇒ Proposto também um procedimento para avaliação do Transporte Público
(tratado mais detalhadamente no TCQSM do TCRP R165, não no HCM)
(HCM propõe nível de serviço com base nas notas de qualidade percebida)

Visão multimodal introduzida no HCM/2010:



Visão interessante mas poderia ser ampliada:



Análise para Autos no U.S.HCM/6thEd (2016)

⇒ **Unidade de Análise:** trechos (unidirecionais, "homogêneos") da via arterial/coletora

Tabela 18-1 (16-3). Nível de Serviço para Autos em Vias Urbanas - HCM/6thEd (2016)

Nível de Serviço	Limite de Velocidade Média por Velocidade Básica de Fluxo Livre								Razão Q/C
	55mi/h(88km/h)	50mi/h(80km/h)	45mi/h(72km/h)	40mi/h(64km/h)	35mi/h(56km/h)	30mi/h(48km/h)	25mi/h(40km/h)		
A	>44mi/h(70km/h)	>40mi/h(74km/h)	>36mi/h(58km/h)	>32mi/h(51km/h)	>28mi/h(45km/h)	>24mi/h(38km/h)	>20mi/h(32km/h)		≤1
B	>37mi/h(59km/h)	>34mi/h(54km/h)	>30mi/h(48km/h)	>27mi/h(43km/h)	>23mi/h(37km/h)	>20mi/h(32km/h)	>17mi/h(27km/h)		≤1
C	>28mi/h(45km/h)	>25mi/h(40km/h)	>23mi/h(37km/h)	>20mi/h(32km/h)	>18mi/h(29km/h)	>15mi/h(24km/h)	>13mi/h(21km/h)		≤1
D	>22mi/h(35km/h)	>20mi/h(32km/h)	>18mi/h(29km/h)	>16mi/h(26km/h)	>14mi/h(22km/h)	>12mi/h(19km/h)	>10mi/h(16km/h)		≤1
E	>17mi/h(27km/h)	>15mi/h(24km/h)	>14mi/h(22km/h)	>12mi/h(19km/h)	>11mi/h(18km/h)	>9mi/h(14km/h)	>8mi/h(13km/h)		≤1
F	≤17mi/h(27km/h)	≤15mi/h(24km/h)	≤14mi/h(22km/h)	≤12mi/h(19km/h)	≤11mi/h(18km/h)	≤9mi/h(14km/h)	≤8mi/h(13km/h)		≤1
F	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer		>1

Obs.: Limites de velocidade correspondem a 80% (A), 67% (B), 50% (C), 40% (D), 30% (E) da velocidade básica de fluxo livre.

avalia operação do fluxo direto apenas (não de fluxos que realizam conversões)

⇒ **Procedimento de Análise:** combina trecho em fluxo contínuo e interseções adiante

⇒ **Velocidade de fluxo livre:** função da velocidade de fluxo livre básica (e seu limite) das características da seção e dos acessos lindeiros no trecho

$$\tilde{V}_{FL} = \tilde{V}_{FL0} - \Delta_{CS} - \Delta_A - \Delta_{PE} \text{ (pretensamente para autos; eventualmente } - \Delta_{calib} \text{)}$$

onde \tilde{V}_{FL0} é a velocidade de fluxo livre básica (**Tabela 18-11a**)

Δ_{CS} é a correção para características da seção (**Tabela 18-11b**)

Δ_A é a correção para os pontos de acesso (**Tabela 18-11c**)

Δ_{PE} é a correção para permissão de estacionamento (**Tabela 18-11d**)

Ajuste para o espaçamento L_s entre semáforos: $\tilde{V}_{FLa} = f_L \cdot \tilde{V}_{FL} \geq V_L$ (limite de velocidade) ?!

$$\text{onde } f_L = 1.02 - 4,7 \cdot \frac{\tilde{V}_{FL} - 19,5 \text{ mi/h}}{\max\{L_s; 400\text{ft}\}} \geq 1,0 \quad (f_L = 1.02 - 0,9 \cdot \frac{\tilde{V}_{FL} - 31,2 \text{ km/h}}{\max\{L_s; 122\text{m}\}} \geq 1,0)$$

⇒ **Tempo de viagem no segmento:** incluindo o trecho até a interseção no limite

$$\bar{V} = \frac{L}{t_R + d_t} \text{ onde } d_t \text{ é o atraso na interseção limite para o fluxo direto com}$$

$$t_R = \frac{\tau_0 - t_0}{\gamma \cdot L} \cdot f_x + \frac{L}{V_f} \cdot f_Q + \sum_k^{N_a} d_{ap,k} + d_o, \gamma = 0,0025 / \text{ft} = 0,00282 / \text{m}, \tau_0 = 6,0\text{s}$$

$$f_Q = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{Q_m \cdot N_t}{52,8 \cdot \tilde{V}_{FL} \text{ (mi/h)}}\right)^{0,21}} = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{Q_m \cdot N_t}{33,0 \cdot \tilde{V}_{FL} \text{ (kmi/h)}}\right)^{0,21}} \text{ (fator de "proximidade")}$$

$$t_0 = \begin{cases} 2,0\text{s em semáforos} \\ 2,5\text{s com PARE (R1) ou (de partida), } \\ \text{DÊ PREFERÊNCIA (R2)} \end{cases} \quad f_x = \begin{cases} 1 \text{ para aproximação com semáforo ou R1} \\ 0 \text{ para aproximação preferencial com R1/R2} \\ \min\{Q_t / C_t; 1\} \text{ para aproximação com R2} \end{cases}$$

d_{apk} : atraso nos pontos de acesso k (s); d_t : outros atrasos intermediários (s)

TABELA 18-11a. Velocidade Básica de Fluxo Livre em Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

Limite de Velocidade V_L	Constante da Velocidade \tilde{V}_{FL0}^*
25mi/h (40km/h)	37,4mi/h (59,8km/h)
30mi/h (48km/h)	39,7mi/h (63,5km/h)
35mi/h (56km/h)	42,1mi/h (67,4km/h)
40mi/h (64km/h)	44,4mi/h (71,0km/h)
45mi/h (72km/h)	46,8mi/h (74,9km/h)
50mi/h (80km/h)	49,1mi/h (78,6km/h)
55mi/h (88km/h)	51,5mi/h (82,4km/h)

$$* \tilde{V}_{FL0} = 25,6 + 0,47.V_L \text{ (mi / h)} = 40,1 + 0,47.V_L \text{ (km / h)}$$

TABELA 18-11b. Correção p/Seção Transversal em Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

Tipo de Canteiro Central	Porcentagem da Extensão com Restrição	Correção Δ_{CS}^*	
		Sem Guia	Com Guia
Restritivo	20	0,3mi/h (0,48km/h)	0,9mi/h (1,44km/h)
	40	0,6mi/h (0,96km/h)	1,4mi/h (2,24km/h)
	60	0,9mi/h (1,44km/h)	1,8mi/h (2,88km/h)
	80	1,2mi/h (1,92km/h)	2,2mi/h (3,52km/h)
	100	1,5mi/h (2,40km/h)	2,7mi/h (4,32km/h)
Não Restritivo	-	0mi/h (0km/h)	0,5mi/h (0,80km/h)
Sem Canteiro Central	-	0mi/h (0km/h)	0,5mi/h (0,80km/h)

$$* \Delta_{CS} = 1,5.p_{rm} - 0,47.p_{guia} + 3,7.p_{rm}.p_{guia} \text{ (mi / h)} = 2,4.p_{rm} - 0,75.p_{guia} + 5,9.p_{rm}.p_{guia} \text{ (km / h)}$$

p_{rm} : proporção da extensão do trecho com restrição (como guias elevadas, excluindo aberturas);

p_{guia} : proporção da extensão do trecho com guia (à direita, incluindo entradas e saídas)

TABELA 18-11c. Correção para Pontos de Acesso em Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

Densidade de Acessos D_A	Correção Δ_A^*			
	1 fx	2 fxs	3 fxs	4 fxs
0/mi (0,0/km)	0mi/h (0km/h)	0mi/h (0km/h)	0mi/h (0km/h)	0mi/h (0km/h)
2/mi (1,25/km)	0,2mi/h (0,32km/h)	0,1mi/h (0,16km/h)	0,1mi/h (0,16km/h)	0mi/h (0km/h)
4/mi (2,50/km)	0,3mi/h (0,48km/h)	0,2mi/h (0,32km/h)	0,1mi/h (0,16km/h)	0,1mi/h (0,16km/h)
10/mi (6,25/km)	0,8mi/h (1,28km/h)	0,4mi/h (0,64km/h)	0,3mi/h (0,48km/h)	0,2mi/h (0,32km/h)
20/mi (12,5/km)	1,6mi/h (2,56km/h)	0,8mi/h (1,28km/h)	0,5mi/h (0,80km/h)	0,4mi/h (0,64km/h)
40/mi (25,0/km)	3,1mi/h (4,96km/h)	1,6mi/h (2,56km/h)	1,0mi/h (1,60km/h)	0,8mi/h (1,28km/h)
60/mi (37,5/km)	4,7mi/h (7,52km/h)	2,3mi/h (3,68km/h)	1,6mi/h (2,56km/h)	1,2mi/h (1,92km/h)

$$* \Delta_A = 0,078 \cdot \frac{D_A}{N_t} \text{ (mi / h)} = 0,2 \cdot \frac{D_A}{N_t} \text{ (km / h)}, D_A = \frac{N_{ap,s} + N_{ap,o}}{L - W_i} \cdot 5280 \text{mi / ft} = \frac{N_{ap,s} + N_{ap,o}}{L - W_i} \cdot 1000 \text{km / m}$$

onde D_A é a densidade de pontos de acesso no trecho, N_t é o número de faixas que permitem fluxo adiante no trecho, $L - W_i$ é a extensão do trecho (sem a largura da interseção), $N_{ap,s}$ é o número de pontos de acesso à direita no sentido analisado e $N_{ap,o}$ é o número de pontos de acesso à direita no sentido oposto ao analisado (admitindo que podem acessar o sentido analisado); os pontos de acesso correspondem às aproximações para saída de veículos (se a interseção que delimita o trecho não é semaforizada, a aproximação da via transversal também é contada como ponto de acesso).

TABELA 18-11d. Correção para Estacionamento em Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

%Extensão com Estacionamento Permitido % L_{PE}	Correção Δ_{PE}^*
0	0mi/h (0km/h)
20	0,6mi/h (1,0km/h)
40	1,2mi/h (1,9km/h)
60	1,8mi/h (2,9km/h)
80	2,4mi/h (3,8km/h)
100	3,0mi/h (4,8km/h)

$$* \Delta_{PE} = 3,0.\%L_{PE} / 100 \text{ (mi / h)} = 4,8.\%L_{PE} / 100 \text{ (km / h)}$$

⇒ **Demanda e atraso nos pontos de acesso do trecho:** entre outras interferências locais demanda intermediária ($Q_m, v/h$): inclui demanda dos pontos de acesso locais ...
 valor básico: acesso (in/out) = ~1%. Q_a à direita + 5%. Q_b à esquerda (??), Q = tráfego sentido a ou b

TABELA 18-7. Valores Básicos p/Densidade de Pontos de Acesso em Vias Urbanas-HCM/6thEd (2016)

Tipo de Área	Tipo de Canteiro Central	Valor Básico para Densidade de Pontos de Acesso, função da Velocidade Limite (VL)							
		25mi/h(40km/h)	30mi/h(48km/h)	35mi/h(56km/h)	40mi/h(64km/h)	45mi/h(72km/h)	50mi/h(80km/h)	55mi/h(88km/h)	
Urbana	Restritivo	62/mi (39/km)	50/mi (31/km)	41/mi (26/km)	35/mi (22/km)	30/mi (19/km)	26/mi (16/km)	22/mi (14/km)	
	Outro	73/mi (46/km)	61/mi (38/km)	52/mi (32,5/km)	46/mi (29/km)	41/mi (26/km)	37/mi 23/(km)	33/mi (21/km)	
Suburbana ou Rural	Restritivo	40/mi (25/km)	27/mi (17/km)	19/mi (12/km)	12/mi (7,5/km)	7/mi (4/km)	3/mi (2/km)	0/mi (0/km)	
	Outro	51/mi (32/km)	38/mi (24/km)	30/mi (19/km)	23/mi (14/km)	18/mi (11/km)	14/mi (9/km)	11/mi (7/km)	

os atrasos nos pontos de acesso ou outros atrasos devem ser medidos para os atrasos nos pontos de acesso, pode-se também utilizar a **TABELA 18-13**

TABELA 18-13. Atraso p/Conversões nos Pontos de Acesso em Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

Demanda Intermediária $Q_m/N_t (v/h/fx)$	Atraso por Veículo Direto $d_{apk} (s/ponto) *$		
	1 fx	2 fxs	3 fxs
200	0,04	0,04	0,05
300	0,08	0,08	0,09
400	0,12	0,15	0,15
500	0,18	0,25	0,15
600	0,27	0,41	0,15
700	0,39	0,72	0,15

* Valores de atraso por veículo adiante com 10% conversões à direita e 10% conversões à esquerda, sem baía de conversão, do segmento para o acesso (senão, adotar valor proporcional que excede a baía de conversão) ... ??

⇒ **Curva de operação implícita:** no trecho antes da interseção no limite

antes da interseção: capacidade no trecho: $\tilde{C}_t = 1800.(N_t - 1 + p_{0j}^*)$,

$$p_{0j}^* = 1 - (1 - p_{0j}) \left(1 + \frac{X_{tr}^{n_L+1}}{1 - X_{tr}} \right)^{\frac{1}{n_L+1}}, \text{ com } p_{0j} = 1 - \frac{Q_e}{C_e} \text{ e } X_{tr} = \frac{Q_t}{S_t} + \frac{Q_d}{S_d}$$

onde conversões à esquerda Q_e em baias com n_L vagas da via principal bloqueiam fluxos diretos (t) e conversões à direita (d) ao transbordar a baía

velocidade no trecho: $\tilde{V} = \frac{\tilde{V}_{FL}}{f_Q}$ (de fluxo) e $\tilde{V}_R = \frac{L}{t_R}$ (de percurso)

$$\tilde{V} = \frac{\tilde{V}_{FL}}{2} \left[1 + \left(1 - \frac{Q_m/N_t}{52,8 \cdot \tilde{V}_{FL} (mi/h)} \right)^{0,21} \right] = \frac{\tilde{V}_{FL}}{2} \left[1 + \left(1 - \frac{Q_m/N_t}{33,0 \cdot \tilde{V}_{FL} (km/h)} \right)^{0,21} \right]$$

⇒ **Tempo de viagem no segmento:** incluindo o atraso adiante na interseção limite

avaliação em função de características das interseções semaforizadas (assume que via é preferencial em interseções com PARE/DÊ PREFERÊNCIA)

⇒ **Atraso na interseção limite do segmento:** considerado apenas para o fluxo direto da análise da interseção semaforizada: $\bar{d}_a = \bar{d}_r + \bar{d}_s$, com $\bar{d}_s = \bar{d}_1$ (regular) e

$$\bar{d}_s = \bar{d}_2 + \bar{d}_3 \text{ (sobre-atraso e adicional gerado pela fila inicial)}$$

(segundo o procedimento tradicional do HCM, que avalia por grupo de faixas, não por grupo de tráfego, o fluxo direto pode aparecer em diversos grupos).

⇒ **Avaliação da qualidade de serviço percebida:** aspecto complementar para autos

$I_{a,seg} = 1 + P_{BCDEF} + P_{CDEF} + P_{DEF} + P_{EF} + P_F$ é a nota de qualidade percebida

onde os $P_{BCDEF}, P_{CDEF}, P_{DEF}, P_{EF}, P_F$ são as proporções de usuários que qualificariam a condição de operação analisada como uma dada faixa no nível de qualidade; os valores são acumulados para os níveis de A a F (portanto, $P_A = 1 - P_{BCDEF}$) e

$I_{a,seg}$ dá implicitamente peso 0 para nível A, peso 1 para nível B, ..., peso 5 para nível F

Previsão da avaliação dos usuários de auto: $P_N = \frac{1}{1 + e^{\theta_0^N + \theta_H \cdot H + \theta_B \cdot P_{Be}}}$ para notas nível N

onde H_s é a taxa de paradas por veículo e extensão no segmento s;

($H_s = \frac{\bar{h}_a + \bar{h}_o}{L}$, paradas na interseção \bar{h}_a e outras paradas \bar{h}_o no trecho)

p_B é a proporção das interseções com baias/faixas de conversão

Nota de Nível de Serviço Atribuída pelos Usuários	Coeficientes para Estimativa da Qualidade Percebida para Autos *		
	θ_0	θ_H	θ_B
BCDEF	-1,1614	-0,253	+0,3434
CDEF	0,6234	-0,253	+0,3434
DEF	1,7389	-0,253	+0,3434
EF	2,7047	-0,253	+0,3434
F	3,8044	-0,253	+0,3434

⇒ **Taxa média de paradas por veículo:** considerado apenas para o fluxo direto da análise da interseção semaforizada: $\bar{h}_a = \bar{h}_r + \bar{h}_s$, com $\bar{h}_s = \bar{h}_1$ (regular) e

$\bar{h}_s = \bar{h}_2 + \bar{h}_3$ (sobre-atraso e adicional gerado pela fila inicial)

onde $\bar{h}_1 = \frac{n_{b1}}{X_q \cdot s_{ft} \cdot g_{ef}}$ e $\bar{h}_s = \frac{n_{b2} + n_{b3}}{Q_t / N_t \cdot t_c}$ com $X_q = \min \left\{ 1; \frac{Q_t}{N_t \cdot s_{ft} \cdot g_{ef} / t_c} \right\} = \frac{q_t}{N_t \cdot s_{ft} \cdot g_{ef} / t_c}$,

(n_{b1}, n_{b2}, n_{b3} são os componentes da fila máxima média, por faixa)

(segundo o procedimento tradicional do HCM, que avalia por grupo de faixas, não por grupo de tráfego, o fluxo direto pode aparecer em diversos grupos).

Análise Suplementar do bloqueio adiante (local e global) no HCM-6thEd (2016)

- efeito de bloqueio local: interferências locais adiante, em meio de quadra (após interseção) redução de faixas adiante, em geral temporário (obras, incidentes, eventos), após a interseção (pode ser também uma restrição física com redução do no.de faixas adiante)

. capacidade em meio de quadra: $C_{ms} = N_{un} \cdot K_{fms} \cdot V_{ms} \leq 1800 \cdot N_{un}$, N_{un} : no. faixas livres

onde $K_{fms} = 0,25 \cdot K_{fl}$, $K_{fl} = \frac{1}{\ell_v}$, ℓ_v : extensão média ocupado por veículo (parado)

e $V_{ms} = V_{FL}$, V_{FL} : velocidade de fluxo livre na via urbana ...

. capacidade contribuinte: inicialmente com $f_{Bl}^0 = 1$, $C_{in}^k = \sum_i p_{ij} \cdot C_i^k$, $C_i^k = u_i^k \cdot f_{Bl}^k \cdot S_i^k$

$C_{in}^0 > C_{ms}$: ajuste iterativo $f_{Bl}^{k+1} = f_{Bl}^k \cdot C_{ms} / C_{in}^k \geq 0,10$ até $C_{in}^k \cong C_{ms}$, $f_{Bl} = f_{Bl}^k$ (senão $f_{Bl} = 1$)

(estimativa inversa pelo efeito da restrição de capacidade adiante C_{ms})

em princípio deve ajustar todos os fluxos de saturação contribuintes (i)

- efeito de bloqueio por saturação global: bloqueio pela fila parada adiante (após a interseção) em geral, avaliado com $f_{Bl} = 1$ (ou f_{Bl} constante; senão efeito combinado $f_{Bg} = f_{Bl} \cdot f_{Bg}$)

. estimativa da extensão média por veículo na fila (parada ou em movimento): ℓ_v^* (a seguir)

. estimativa da capacidade de acumulação de fila adiante e tempo até bloqueio: aproximação i

extensão $z_{e\max}^i = z_{\max}^i - z_0^i$, $n_{a\max}^i = \frac{z_{a\max}^i}{\ell_v^*}$; se $q_i > c_i$ então $t_b^i = \frac{n_{a\max}^i}{q_i - c_i} \geq 0$ (senão fazer $t_b^i = T$)

se aproximação tem diversos grupos de faixa i e/ou baias de conversão j (extensão L_b^j) em i:

N_t^i, N_b^j : no. faixas da fila j (faixa compartilhada pela proporção P_j^i na fila; t=direto e b=baia)

$N_t^i = N_i - P_D - P_E$, $n_{\max}^i = \frac{N_t^i \cdot z_{\max}^i}{\ell_v^*}$ direto, $N_b^j = N_b^j + P_j$, $n_{\max}^j = \frac{N_b^j \cdot L_b^j + P_j^i \cdot z_{\max}^i}{\ell_v^*}$ j: direita, esquerda

fila inicial j: n_0^j ; grupo i: $n_0^i = \max\left\{0; n_0^j - \frac{N_b^j \cdot L_b^j}{\ell_v^*}; n_0^t - \frac{N_t^i \cdot L_b^j}{\ell_v^*}\right\}$, $z_{\text{comb}}^i = z_{\max}^i - L_b^j$, $n_{\text{comb}}^i = \frac{z_{\text{comb}}^i}{\ell_v^*}$?

faixa compartilhada $q_s^i = \max\left\{q_i^j, \frac{q_i^j + q_i^t}{N_i}\right\}$, $x_s = \frac{q_i^j}{c_i^j} + \frac{q_i^t - q_i^j}{c_i^t / N_i}$, $c_i = \frac{q_s^i}{x_s} + \frac{c_i^t (N_i - 1)}{N_i}$ direita, esquerda

(tem de ser feita simultaneamente com análise da alocação dos fluxos às faixas de tráfego)

se $q_i > c_i$ então $t_b^i = \frac{n_{a\max}^i}{q_i - c_i} \geq 0$, senão fazer $t_b^i = T$ (obtem t_b^i para cada grupo de faixas i)

. análise dos efeitos de bloqueio: divide período T em sub-períodos t_k (bloqueios sucessivos)

discussão pouco detalhada: cada interseção adiante (d) pode bloquear a aproximação (u)

analisa trecho (u,d) adiante e os movimentos: 1=esquerda, 2=direto, 3=direita; 4:lindeiro;

início: $f_{Bg}^0 = 1$, $T_0 = T$, $k=1$, $t_b^k = t_b^{i*}$: menor $t_b^i > 0$, parece analisar apenas (u,d) com i^* direto

$q_{i2}^k = p_{i2}^k \cdot c_{d2}^k$, $q_{i1}^k = \min\{p_{i1}^k \cdot c_{d1}^k; f_{i2}^{xk} \cdot q_{i1}^k\}$, $q_{i3}^k = \min\{p_{i3}^k \cdot c_{d3}^k; f_{i2}^{xk} \cdot q_{i3}^k\}$, $q_{i4}^k = f_{i2}^{xk} \cdot q_{i4}^k$; $q_i^k = q_{i1}^k + q_{i2}^k + q_{i3}^k + q_{i4}^k$

com $f_{Bg}^k = f_{Bg}^{k-1} \cdot (q_{i2}^k / c_{d2}^k)^\alpha$ ($\alpha = 0,5$ melhor convergência); se $T_k = T_{k-1} - t_b^k > 0$, $k=k+1$, $n_0^{k+1} = \dots$

senão $f_{Bg} = f_{Bg}^k$ (estimativa inversa pelo efeito da restrição de capacidade adiante $c_{d2} \dots$)

- análise de bloqueio (restrição de capacidade) é importante mas proposta é muito criticável:
 . torna o processo iterativo (inclui ajuste de O/Ds na proposta do HCM/2016): *StreetVal* ...

. estimativa da velocidade da onda de dissipação (fila parada): $w_s = \frac{t_{pr}}{\ell_v}$, $t_{pr} \cong 1,3\text{seg}$??

aplicação (criticável) da análise das ondas (cinemáticas) de parada e dissipação de fila:

Akçelik: visão microscópica correta seria $w_c = \frac{\ell_v}{h - \ell_v/V}$ e $w_s = \frac{\ell_v}{h_s - \ell_v/V_s}$

(ou $w_c = \frac{Q}{K_J - K}$ e $w_s = \frac{S}{K_J - K_S}$ pois $q = \frac{1}{h}$, $V = \frac{Q}{K}$, $S = \frac{1}{h_s}$, $V_s = \frac{S}{K_s}$, $K_J = \frac{1}{\ell_v}$)

. estimativa da extensão média por veículo na fila média (parada ou em movimento) ℓ_v^* :

usa estimativa da velocidade na fila em movimento: $V_n = \frac{\ell_v}{2,0 - t_{pr}}$, $t_{pr} \cong 1,3\text{seg}$?? e

$$\ell_v^* = \ell_v \text{ se } t_{\text{máx}} < r, \ell_v^* = \frac{2,0}{\frac{r}{z_{\text{máx}}} - \frac{1}{V_n}} \geq \ell_v \text{ se } r \leq t_{\text{máx}} < t_c, \ell_v^* = \frac{1}{2} \frac{\ell_v}{2,0 - t_{pr} \cdot u} \text{ se } t_{\text{máx}} \geq t_c \text{ ??}$$

obscuras e provavelmente incorretas: melhor obter $V_n = f[q_n] q_n = S$ e $e_s = \frac{V_s}{S}$, tendo-se

$$\ell_v^* = \ell_v \text{ se } t_{\text{máx}} < r, \ell_v^* = \frac{r}{t_{\text{máx}}} \cdot \ell_v + \frac{t_{\text{máx}} - r}{t_{\text{máx}}} \cdot e_s \text{ se } r \leq t_{\text{máx}} < t_c, \ell_v^* = (1 - u) \cdot \ell_v + u \cdot e_s \text{ se } t_{\text{máx}} \geq t_c$$

. estimativa da capacidade de acumulação de fila adiante e dos tempos até bloquear ...

não há detalhamento claro e exemplo de aplicação (parece concebido para o software HCS) mas tratamento das baias parece ter fórmulas com diversos erros a serem corrigidos e não há detalhamento da atualização dos dados entre iterações e das iterações internas do método (além dos erros do uso de modelos de fila vertical, implícitos em todas as fórmulas do HCM...)

- estimativa direta: $f_b = 1 - \frac{t_{bg}}{t_c}$ ou $\frac{T_{bg}}{T}$ a partir do tempo com bloqueio por filas (ou $g'_{ef} = g_{ef} - t_{bg}$)

causas usuais: falta de capacidade adiante mas também sincronismo deficiente ...

. t_{bg}, T_{bg} : tempo de bloqueio por fila no verde (vermelho de fato) no ciclo ou no período

. essencial prever a variação com fatores causais (difícilmente pode ser admitido fixo!)

(em interseções próximas, há um fator similar de desperdício de capacidade por verde vazio)

(o enfoque direto adotado nos métodos para interseções em interconexões com $\ell' = \ell + t_{bg}$...)

Análise (Simplificada) para Autos no U.S.HCM/2000

⇒ Tempo de viagem no segmento: $\bar{V} = \frac{L}{t_R + d_t}$ onde d_t é o atraso na interseção limite

TABELA 10-3. Classes Arteriais Segundo sua Função e Categoria de Projeto- HCM/2000

Categoria de Projeto	Categoria Funcional	
	Artéria Principal	Artéria Secundária
Alta Velocidade	I	-
Suburbano Típico	II	II
Intermediário	II	III ou IV
Urbano Típico	III ou IV	IV

TABELA 10-4. Classificação de Auxílio para Definir Vias Arteriais- HCM/2000

Critério	Categoria Funcional	
	Artérias Principais	Artérias Menores
Função Mobilidade	Muito importante	Importante
Função Acesso	Muito menor	Substancial
Pontos Conectados	vias expressas, centros de atividades importantes, geradores de tráfego principais	Artérias principais
Viagens Predominantes	viagens relativamente longas entre os pontos conectados e viagens através, entrando, deixando e cruzando a cidade.	Viagens com comprimento moderado em áreas geográficas relativamente pequenas
Servidas		

Critério	Categoria de Projeto			
	Alta Velocidade	Suburbano	Intermediário	Urbano
Densidade de Acessos	densidade muito baixa	baixa densidade	densidade moderada	alta densidade
Seção Transversal	múltiplas faixas, pistas divididas ou não	múltiplas faixas com canteiro; pista simples com múltiplas faixas ou 2 faixas com acostamento	múltiplas faixas com ou sem canteiro; via de sentido único; pista simples com 2 faixas	pista simples com sentido único; sentido duplo com 2 ou mais faixas
Estacionamento	sem estacionamento	sem estacionamento	algum estacionamento	estacionamento usual
Faixas Separadas de Conversão à Esquerda (LT)	sim	sim	Usual	Algum
Semáforos (n ^o /km)	0,3-1,2	0,6-3,0	2-6	4-8
Limites de Velocidade	75-90	65-75 km/h	50-65 km/h	40-55 mph
Interferências de Pedestres	muito pouca	pouca	Alguma	Usual
Ocupação ao Redor da Via	baixa densidade	baixa a média densidade	densidade média/moderada	densidade alta

TABELA 15-3. Tempo de Percurso por Quilômetro no Segmento- HCM/2000

Classe Arterial	I			II			III		IV		
	90	80	70	70	65	55	55	50	55	50	40
Velocidade Fluxo Livre (km/h)											
Comprimento Médio no Segmento (m)	Tempo de Percurso por Km (seg/km)										
100	c	c	c	c	c	c	-	-	-	129	159
200	c	c	c	c	c	c	88	91	97	99	125
400	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600	52	55	61	60	61	67	d	d	d	d	d
800	45	49	57	56	58	65	d	d	d	d	d
1000	44	48	56	55	57	65	d	d	d	d	d
1200	43	47	54	54	57	65	d	d	d	d	d
1400	41	46	53	53	56	65	d	d	d	d	d
1600	40 ^b	45 ^b	51 ^b	51 ^b	55 ^b	65 ^b	d	d	d	d	d

a-É melhor ter uma estimativa da velocidade fluxo livre. Se, entretanto, não houver, então usar a tabela assumindo os valores seguintes:

Para a Classe	Velocidade Fluxo Livre (km/h)
I	80
II	65
III	55
IV	45

b- Para segmentos de comprimento muito grande de artérias de Classe I e II (1600 metros ou maior), a velocidade de fluxo livre pode ser usada para calcular o tempo de percurso por milha. Estes tempos estão mostrados nas entradas para segmentos de 1600 metros de comprimento.

c- Se um segmento de via arterial com Classe I ou II tem extensão menor que 400 metros, o usuário deve: (a) reavaliar a classificação; (b) se o segmento for mantido como distinto, usar os valores tabelados para 400 metros.

d- Da mesma forma, um segmento de via arterial com Classe III e IV tem extensão maior que 400 metros deve primeiro ser reavaliado (isto é, a classificação deve ser confirmada). Se necessário, então os valores tabelados podem ser extrapolados.

e- Embora, a tabela não mostre a dependência do tempo de percurso no segmento do fluxo de tráfego, é lógico que existe esta dependência; entretanto, a dependência do atraso na interseção do fluxo de tráfego é mais forte e domina o cálculo da velocidade média.

Análise para Pedestres no U.S.HCM/6thEd (2016)

⇒ Unidade de Análise: trechos (unidirecionais, "homogêneos") da via arterial/coletora (aplica-se aos percursos adjacentes às vias urbanas, com ou sem calçada)

Tabela 18-2 (16-4). Nível de Serviço para Pedestres em Vias Urbanas – HCM/6thEd (2016)

Nota de Nível de Serviço para Pedestres	Espaço Médio por Pedestre em Circulação						Por Link Nota de Nível de Serviço
	>60ft ² /ped (5,6m ² /ped)	>40-60 ft ² /ped (3,7-5,6m ² /ped)	>24-40 ft ² /ped (2,2-3,7m ² /ped)	>15-24 ft ² /ped (1,4-2,2m ² /ped)	>8*-15 ft ² /ped (0,75-1,4m ² /ped)	<=8* ft ² /ped (0,75m ² /ped)	
<=2,00	A	B	C	D	E	F	<=1,50
>2,00-2,75	B	B	C	D	E	F	>1,50-2,50
>2,75-3,50	C	C	C	D	E	F	>2,50-3,50
>3,50-4,25	D	D	D	D	E	F	>3,50-4,50
>4,25-5,00	E	E	E	E	E	F	>4,50-5,50
>5,00	F	F	F	F	F	F	>5,50

*Com fluxos cruzados de pedestres, limite E/F é 13ft²/ped(1,2m²/ped)

Avalia operação do fluxo paralelo à via (avaliação complementar das travessias)

⇒ **Procedimento de Análise:** combina qualidade percebida e espaço em circulação

Nota de qualidade de serviço percebida:

$$I_{p,seg} = 0,125 + 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{L/V_{ped}}{t_{vped,s}} \cdot (F_{cd} \cdot I_{p,link} + 1)^3 + \frac{d_{pped}}{t_{vped,s}} \cdot (F_{cd} \cdot I_{p,int} + 1)^3}$$

com $F_{cd} = 1,0 + \frac{0,10 \cdot d_{px} - I_{p0,seg}}{7,5} \begin{cases} \geq 0,80 \\ \leq 1,20 \end{cases}$, $d_{px} = \min\{d_{pd}; d_{pw}; 60s\}$

$$I_{p0,seg} = 1,606 + 0,318 \cdot I_{p,link} + 0,220 \cdot I_{p,int} \quad \text{e} \quad t_{vped} = \frac{L}{V_{ped}} + d_{pped}$$

onde $I_{p,link}$ é a nota de qualidade de serviço no trecho (entre interseções) e

$I_{p,int}$ é a nota de qualidade de serviço na travessia da interseção limite determinado na análise da interseção (ver adiante)

F_{cd} é o fator de dificuldade de travessia (de meio de quadra, entre interseções)

d_{pped} é o atraso do pedestre no trajeto ao longo da via (paralelo à via), e

d_{pd} : atraso de desvio do pedestre, d_{pw} : atraso de espera do pedestre na travessia

Em via sem calçada, o espaço em circulação não é analisado (admite não restritivo)

Em via com calçada: espaço em circulação por pedestre: $A_p = \frac{V_p}{Q_{pu}}$, $Q_{pu} = \frac{Q_p}{W_L}$

onde Q_p é o fluxo de pedestre (velocidade V_p) na calçada e

W_L é a largura útil para circulação na calçada

Aspecto complementar: espaço em espera (não está incorporado na análise ...)

⇒ **Velocidade de fluxo livre:** critérios similares a caminhos de pedestres(segregados)

em caminhos de pedestres: $V_{Fped} = 4,0\text{ft/s}(1,2\text{ m/s})$ para 20% ou menos idosos

$V_{Fped} = 3,3\text{ft/s}(1,0\text{ m/s})$ para mais de 20% de idosos (65 anos ou mais), em nível

efeito do active: menos $0,3\text{ft/s}(0,1\text{m/s})$ para cada 10% de active

ao longo da via, em calçadas: velocidade maior $V_{ped} = 5,0\text{ft/s}(1,5\text{ m/s})$...

⇒ **Velocidade de fluxo:** função do fluxo de pedestres por unidade de largura útil, $Q_{pu} = \frac{Q_p}{W_L}$

$$V_{ped} = \left(1 - \beta_{ped} 0,00078 \cdot Q_{pu}^2\right) V_{Fped} \geq 0,5 \cdot V_{Fped}, \text{ onde } \beta_{ped} = 0,00078\text{ft}^2 \cdot \text{min}^2 = 0,0000725\text{m}^2 \cdot \text{min}^2$$

⇒ **Largura útil (efetiva) para fluxo de pedestres:** exclui obstruções aos pedestres

$W_L = W_T - \Delta_{o,i} - \Delta_{o,o} - \Delta_{s,i} - \Delta_{s,o} \geq 0$, onde W_T é a largura total disponível,

$\Delta_{s,i}, \Delta_{s,o}$ são as distâncias de afastamento lateral (*shy distance*, interno, externo)

$\Delta_{s,i} = \text{máx}\{W_b, 1,5\text{ft}(0,45\text{m})\}$, onde W_b é a largura entre calçada e guia

$\Delta_{s,o} = \beta_w \cdot p_w + \beta_b \cdot p_b + \beta_f \cdot p_f$ onde p_w, p_b, p_f é a proporção da extensão do trecho com janelas, edificações e cercas adjacentes com

$\beta_w = 3,0\text{ft} = 0,9\text{m}$, $\beta_b = 2,0\text{ft} = 0,6\text{m}$ e $\beta_f = 1,5\text{ft} = 0,45\text{m}$

$\Delta_{o,i}, \Delta_{o,o}$ são as larguras adicionais obstruídas por objetos fixos (interno, externo)

$\Delta_{o,i} = w_{o,i} - \Delta_{s,i} \geq 0$ e $\Delta_{o,o} = w_{o,o} - \Delta_{s,o} \geq 0$ (pode haver $\Delta_{o,m} = w_{o,m}$)

(w_o : mesmos critérios aplicados a caminhos/calçadas segregadas)

⇒ **Espaço em circulação:** inverso da densidade média no fluxo de pedestres

fluxo de pedestres por unidade de largura útil: $Q_{pu} = \frac{Q_p}{W_L}$

espaço por pedestres em circulação: $A_p = \frac{V_p}{Q_{pu}}$ (unidades consistentes)

⇒ **Análise do Trecho:** $I_{p,link} = 6,0468 + \Delta_w + \Delta_Q + \Delta_v$ onde

$\Delta_w = -1,2276 \cdot \ln[\gamma_Q \cdot W_Q + \gamma_1 \cdot W_1 + \gamma_k \cdot p_k + \gamma_b \cdot W_b + \gamma_{aA} \cdot W_{aA}]$ é o efeito de largura com $\gamma_Q = 1/\text{ft} = 3,28/\text{m}$ e W_Q é a largura efetiva da faixa externa (faixa direta, mas incluindo ciclo-faixa e acostamento, se existentes)

com $\gamma_1 = 0,5/\text{ft} = 1,64/\text{m}$ e W_1 é a largura efetiva da ciclo-faixa e acostamento com $\gamma_k = 50$ e p_k é a proporção da extensão com estacionamento na via ocupado com $\gamma_b = 1/\text{ft} = 3,28/\text{m}$ e W_b é a distância entre calçada e guia (*buffer*)

exceto com separador alto e contínuo entre calçada e guia $\gamma_b = 5,37/\text{ft} = 17,6/\text{m}$ (alto se mais de $3\text{ft}=0,9\text{m}$; contínuo se menos de $2\text{ft}=0,6\text{m}$ espaçados)

com $\gamma_{aA} = 6,0 - \beta_{aA} \cdot W_{aA}$ e $W_{aA} = \min\{W_A; 10\text{ft}(3,0\text{m})\}$ é a largura disponível efetiva onde $\beta_{aA} = 0,3/\text{ft} = 0,9/\text{m}$, $W_A = W_T - W_b$: largura de calçada (0=ausente)

$\Delta_Q = 0,0091 \cdot \frac{Q_m}{4 \cdot N_t}$ é o efeito do tráfego Q_m (nas faixas diretas N_t do trecho)

$\Delta_v = 4 \cdot \left(\beta_R \cdot \frac{V_R}{100} \right)^2$ é o efeito da velocidade de percurso do tráfego ($V_R = \frac{L}{t_R}$)

$$\beta_R = \frac{3600\text{s/h}}{5280\text{ft/mi}} = \frac{3600\text{s/h}}{1600\text{m/mi}} \quad (\text{transforma } V_R \text{ em mi/h})$$

avaliação das larguras: se $p_k = 0$, então $W_t = w_{ol} + w_{bl} + w_{os}^*$ senão $W_t = w_{ol} + w_{bl}$ se $Q_m > 160\text{v/h}$ ou há canteiro então $W_Q = W_t$ senão $W_Q = W_t \cdot (2 - 0,005 \cdot Q_m)$

se $p_k < 0,25$ ou demarcado então $W_1 = w_{bl} + w_{os}^*$ senão $W_1 = 10\text{ft}(3\text{m})$

onde w_{ol} é a largura da faixa direta externa, w_{bl} é a largura da ciclo-faixa (se existente $w_{bl} = 0$), w_{os} é a largura do acostamento externo e

$w_{os}^* = w_{so} - 1,5\text{ft}(0,45\text{m})$ se há guia (senão $w_{os}^* = w_{so}$) é a largura ajustada

⇒ **Análise da Interseção:** normalmente apenas para interseções semaforizadas (em geral, nas interseções com sinalização de prioridade, arterial/coletora é preferencial)

⇒ **Análise das Travessias Intermediárias:** paralela, deslocada ou local (meio de quadra)

d_{pp} (paralela): normalmente será nula (travessias sem semáforo na direção preferencial) exceto na interseção limite (semaforizada)

d_{pd} (deslocada): $d_{pd} = \frac{D_d}{V_p} + d_{pc}$, onde d_{pc} é o atraso na travessia próxima

$D_d = 2 \cdot D_c$ é o percurso do deslocamento da travessia (D_c)

(pode-se assumir 2/3 da extensão do trecho se for indefinida)

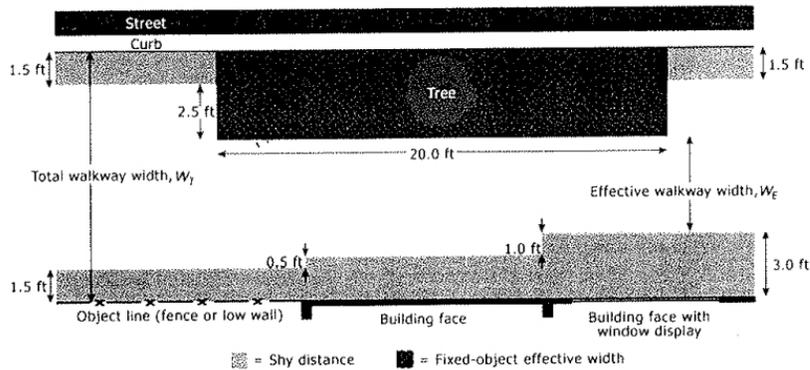
d_{pc} (local): normalmente travessia próxima será semaforizada

(em geral, travessia próxima ocorre na interseção limite)

⇒ **Velocidade Média no Segmento:** $\bar{V}_{p,seg} = \frac{L}{L/V_p + d_{pp}} \begin{cases} > 4\text{ft/s}(1,2\text{m/s}) \text{ desejável} \\ < 2\text{ft/s}(0,6\text{m/s}) \text{ indesejável} \end{cases}$

Critérios para Largura Efetiva de Caminho ou Calçada Segregados:

Largura efetiva: $W_E = W_T - W_O$ (largura total menos obstruções)
 extensão da obstrução efetiva: cerca de 5 vezes a largura efetiva



Fixed Object	Effective Width (ft)
<i>Street Furniture</i>	
Light pole	2.5–3.5
Traffic signal poles and boxes	3.0–4.0
Fire alarm boxes	2.5–3.5
Fire hydrants	2.5–3.0
Traffic signs	2.0–2.5
Parking meters	2.0
Mail boxes (1.7 ft × 1.7 ft)	3.2–3.7
Telephone booths (2.7 ft × 2.7 ft)	4.0
Trash cans (1.8 ft diameter)	3.0
Benches	5.0
Bus shelters (on sidewalk)	6.0–7.0
<i>Public Underground Access</i>	
Subway stairs	5.5–7.0
Subway ventilation gratings (raised)	6.0+
Transformer vault ventilation gratings (raised)	6.0+
<i>Landscaping</i>	
Trees	3.0–4.0
Planter boxes	5.0
<i>Commercial Uses</i>	
Newsstands	4.0–13.0
Vending stands	Variable
Advertising and store displays	Variable
Sidewalk cafés (two rows of tables)	7.0
<i>Building Protrusions</i>	
Columns	2.5–3.0
Stoops	2.0–6.0
Cellar doors	5.0–7.0
Standpipe connections	1.0
Awning poles	2.5
Truck docks (trucks protruding)	Variable
Garage entrance/exit	Variable
Driveways	Variable

Source: Pushkarev and Zupan (9).

Procedimento para QoS de Pedestres em Travessia Semaforizada:

TABELA 19-9 (18-2, Pedestre, Link). Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções Semaforizadas - HCM/6thEd (2016)

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	≤1,50
B	>1,50, ≤2,50
C	>2,50, ≤3,50
D	>3,50, ≤4, 50
E	>4,50, ≤5,50
F	>5,50

Nota de Nível de Serviço (LS Score) para pedestres: $I_{ped} = 0,5997 + \Delta_N + \Delta_Q + \Delta_V + \Delta_D$

$$\Delta_N = 0,682 \cdot N_c^{0,514}, \text{ onde } N_c \text{ é número de faixas atravessadas}$$

$$\Delta_Q = 0,00569 \cdot \frac{Q_{Dverm} + Q_{Eperm}}{5} - N_{icD} \left(0,0027 \cdot \frac{Q_{H,M}}{4 \cdot N_c} - 0,1946 \right),$$

onde $Q_{Dverm} + Q_{Eperm}$ é a soma dos fluxos de conversão na travessia (conversões à direita no vermelho e conversões à esquerda permitidas)

N_{icD} é o número de ilhas de canalização na conversão à direita

$Q_{H,M}$ é o fluxo total de veículos que cruzam a travessia da via

$$\Delta_V = 0,00013 \cdot \frac{Q_{H,M}}{4 \cdot N_c} \cdot \frac{V_{85,M}}{1,6}, \text{ onde } V_{85,M} \text{ é a velocidade (em km/h) na via}$$

correspondente ao do percentil 85 (85% dos veículos)

$$\Delta_D = 0,0401 \cdot \ln[d_{ped}], \text{ onde } d_{ped} \text{ é o atraso médio por pedestre na travessia}$$

$$d_{ped} = p_d \cdot \bar{d}_p = \frac{(t_c - g_{pede})^2}{2 \cdot t_c}, \text{ onde } g_{pede} \text{ é o verde efetivo para pedestres}$$

- com foco de pedestre de tempo fixo ou com botoeira: $g_{pede} = g_{ped} + 4\text{seg}$

- sem foco de pedestre de tempo fixo ou com botoeira: $g_{pede} = g_{veic}$ ou \bar{g}_{veic}

$$\text{fluxo de pedestres uniforme: } p_d = \frac{t_c - g_{pede}}{t_c}, \bar{d}_p = \frac{(t_c - g_{pede})}{2}, N_{pd} = p_d \cdot q_p \cdot t_c = q_p \cdot (t_c - g_{pede})$$

(também deve ser analisado o espaço na área de espera das esquinas)

$$\text{- tempo de dissipação da fila na travessia } t_{ps} = \begin{cases} t_s + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + 0,27 \cdot \frac{N_{pd}}{W/W_b}, & W > W_b \\ t_s + \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + 0,27 \cdot N_{pd}, & W \leq W_b \end{cases}$$

largura básica da faixa: $W_b = 10\text{ft} \cong 3,0\text{m}$; tempo de início: $t_s = 3,2\text{seg}$

(incorpora o efeito de formação de pelotão de pedestres na travessia)

Procedimento para Pedestres em Áreas de Espera e Circulação:

- deveria considerar espaço disponível (m²/ped) e grau de mobilidade permitido;
- critério proposto considera qualitativamente o espaço disponível por pedestre;

TABELA 19-28. Nível de Serviço p/Pedestres em Áreas de Circulação- HCM/6thEd (2016)

Espaço por Pedestre	Descrição Qualitativa do Espaço para Pedestres
> 60 ft ² /ped (5,6m ² /ped) * > 530 ft ² /ped (49m ² /ped)	Habilidade de mover-se no caminho desejado, sem necessidade de alterar movimento
> 40-60 ft ² /ped (3,7-5,6 m ² /ped) * > 90-530 ft ² /ped (8,4-49 m ² /ped)	Necessidade ocasional de ajustar caminho para evitar conflito
> 24-40 ft ² /ped (2,2-3,7 m ² /ped) * > 40-90 ft ² /ped (3,7-8,4 m ² /ped)	Necessidade frequente de ajustar caminho para evitar conflito
> 15-24 ft ² /ped (1,4-2,2 m ² /ped) * > 23-40 ft ² /ped (2,1-3,7 m ² /ped)	Restrição à velocidade e à habilidade de ultrapassar pedestres mais lentos
> 8-15 ft ² /ped (0,7-1,4 m ² /ped) * > 11-23 ft ² /ped (1,0-2,1 m ² /ped)	Restrição à velocidade; habilidade muito limitada de ultrapassar pedestres mais lentos
≤ 8 ft ² /ped (0,7 m ² /ped) * ≤ 11 ft ² /ped (1,0 m ² /ped)	Velocidade severamente limitada; contato frequente com outros usuários

* apenas para segmentos curtos, com fluxo de pedestres em pelotão (das Tabelas 16-9,18-15)

- estimativa do espaço por pedestre com base no conceito espaço-tempo (Fruin):
avalia probabilidade de estar na área=%do espaço-tempo ocupando a área!

- com semáforo, circulação na área de espera:

. total disponível: $TS = t_c (W_a \cdot W_b - 0,215 \cdot r^2)$, $r = \min\{R, W_a, W_b\}$, no ciclo semafórico

. tempo demandado na espera: pedestres saindo q_{poi} por travessia ($i=1,2,\dots$)

$$T_{ep} = T_{e1} + T_{e2}, T_{qi} = N_{pd} \cdot d_{pi}, N_{pd} = p_{di} \cdot q_{poi} \cdot t_c, p_{di} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{t_c}, d_{pi} = \frac{t_c - g_{pede}^i}{2}$$

. disponível p/circulação: $TS_{cp} = TS - a_p \cdot T_{ep}$, no ciclo semafórico, $a_p = 5 \frac{ft^2}{p} \cong 0,5 \frac{m^2}{p}$

. espaço por pedestre circulante: $M_{cp} = \frac{TS_{cp}}{q_{pc,tot} \cdot t_c \cdot t_{pc}}$ (ver na Tabela 19-28)

$q_{pc,tot}$: soma dos fluxos de pedestres circulando; $t_{pc} = 4s$: tempo circulando

- com semáforo, circulação na travessia da via:

. total disponível: $TS = L_{ped} \cdot W_e \cdot t_{pe}$, por ciclo semafórico

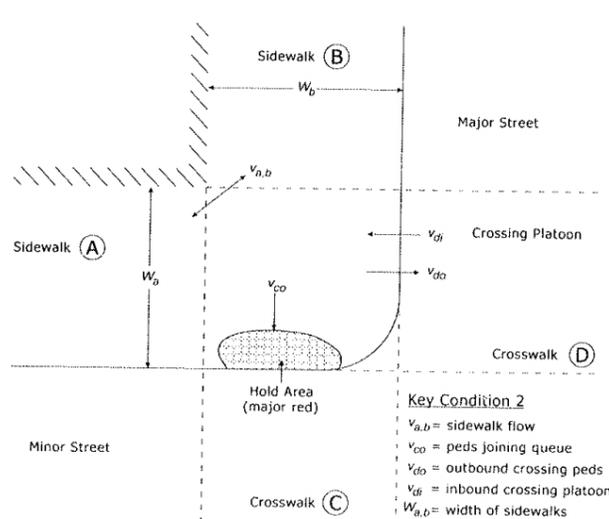
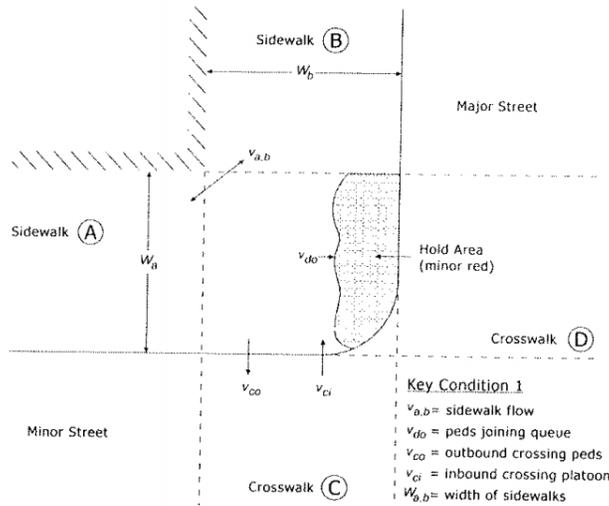
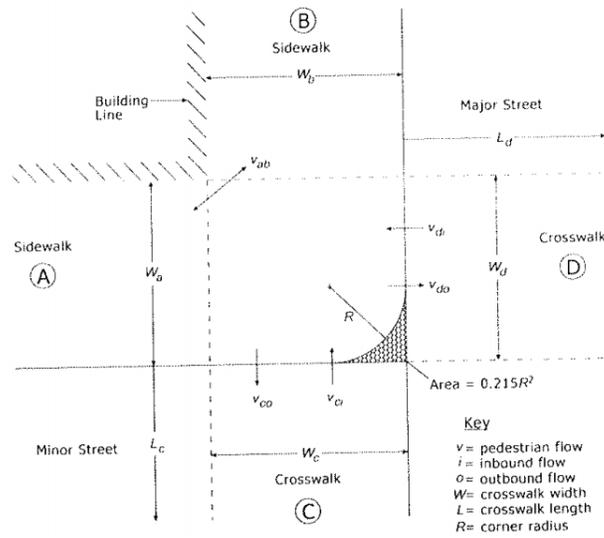
. disponível efetivo para pedestre: $TS_{cw} = TS - TS_{tv}$, com $TS_{tv} \cong t_{tv} \cdot N_{tv} \cdot W_e$

($t_{tv} \cong w_{sw} \cdot t_{sw} = 40ft \cdot s \cong 12m \cdot s$, com $w_{sw} = 2,4m$ e $t_{sw} = 5seg$, N_{tv} : conversões/ciclo)

. tempo demandado: $T_{dp} = (q_{qo} + q_{qi}) t_c \cdot t_{ps}$, pedestres saindo q_{po} e chegando q_{pi}

. espaço por pedestre atravessando: $M_{cw} = \frac{TS_{cw}}{T_{dp}}$ (ver na Tabela 19-28)

- sem semáforos, ambos os aspectos são ignorados.



Procedimento para QoS Travessias de Pedestres Não-Semaforizadas:

- baseado no atraso médio por pedestre com chegadas uniformes:

$$d_{ped} = \frac{1}{q_o} \left(e^{q_o \cdot t_{ped}} - q_o \cdot t_{ped} - 1 \right) \quad e \quad d_{pedp} = \frac{d_{ped}}{P_{pedp}}, \quad P_{pedp} = 1 - \left(1 - P_{bped} \right)^{N_p}$$

com brecha requerida baseada em tempo requerido (não comportamental)

$$t_{ped} = t_d + (N_p - 1) \cdot t_f, \quad \text{com } t_d = \frac{L_{ped}}{V_{ped}} + t_s \quad \text{para travessia, e } P_{bped} = 1 - e^{-q_o \cdot t_{ped} / N_p}$$

onde t_s é o tempo de início da partida e t_f é o tempo em pelotão (2seg.)

$$\text{com } N_{ped} = \frac{q_{ped} \cdot e^{q_{ped} \cdot t_d} + q_o \cdot e^{-q_o \cdot t_d}}{(q_{ped} + q_o) \cdot e^{(q_{ped} - q_o) \cdot t_d}} \quad \text{pedestres atravessando por brecha em}$$

$$N_p = \text{INT} \left[\frac{N_{ped} - 1}{W_E / 2,44} \right] + 1 \quad \text{linhas de pedestres em pelotão (fila) na travessia}$$

onde normalmente são considerados os pedestres de ambos os sentidos (pressupõe fluxo oposto veicular q_o com chegadas poissoniadas)

(passou a adotar largura efetiva de 2,44m (8ft) por fila bidirecional de pedestres)

(também deve ser analisado o espaço na área de espera das esquinas)

$$\text{Conceito de capacidade implícito: } C_{ped} = \frac{W_E}{2,44} \cdot \frac{e^{-q_o \cdot t_d}}{1 - e^{q_o \cdot t_f}} \cdot q_o \quad (\text{poissoniana})$$

Efeito da Cessão da Preferência nas Travessias de Pedestres:

- HCM2010: nos EUA os motoristas não obedecem a preferência dos pedestres !
- modelo básico assume travessia de pedestres nas brechas (manobra secundária)
- efeito de cessão de preferência nas travessias de pedestres: redução do atraso ...

. procedimento numérico de estimativa: passos $n_h = \frac{d_{pedp}}{\delta_h}, \delta_h = \bar{h}_f = \frac{N}{q_t}$

$$d_{ped} = \sum_{i=1}^{n_h} \delta_h \cdot (i - 0,5) \cdot P[Y_i] + d_{pedp} \cdot P[nY], P[nY] = P_{pedp} - \sum_{i=0}^{n_h} P[Y_i]$$

$$P[Y_0] = 0, P[Y_{\geq i}] = \left(P_{pedp} - \sum_{j=0}^{i-1} P[Y_j] \right) P[Y_i] = P[Y_{\geq i}] \frac{P[G_i]}{P_{pedp}}$$

$$p / 1fx : P[G_i] = P_{pedp} \cdot M_y, P[Y_i] = P[Y_{\geq i}] \frac{P[G_i]}{P_{pedp}} = P_{pedp} \cdot (1 - M_y)^{i-1} \cdot M_y,$$

$$p / 2fxs : P[G_i] = 2 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + (P_{bped} \cdot M_y)^2,$$

$$p / 3fxs : P[G_i] = 3 \cdot (1 - P_{bped})^2 \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + 3 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^2 + (P_{bped} \cdot M_y)^3,$$

$$p / 4fxs : P[G_i] = 4 \cdot (1 - P_{bped})^3 \cdot (P_{bped} \cdot M_y) + 6 \cdot (1 - P_{bped})^2 \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^2 + 4 \cdot (1 - P_{bped}) \cdot (P_{bped} \cdot M_y)^3 + (P_{bped} \cdot M_y)^4, \dots$$

. taxa média de cessão de preferência aos pedestres: M_y
(proporção dos motoristas que cedem preferência, função da sinalização)

Crossing Treatment	Staged Pedestrians		Unstaged Pedestrians	
	Number of Sites	Mean Yield Rate, %	Number of Sites	Mean Yield Rate, %
Overhead flashing beacon (push button activation)	3	47	4	49
Overhead flashing beacon (passive activation)	3	31	3	67
Pedestrian crossing flags	6	65	4	74
In-street crossing signs (25–30 mi/h)	3	87	3	90
High-visibility signs and markings (35 mi/h)	2	17	2	20
High-visibility signs and markings (25 mi/h)	1	61	1	91
Rectangular rapid-flash beacon	N/A	N/A	17	81

Source: Fitzpatrick et al. (NCHRP R562) and Shurbutt et al. (JTRB 2140).

Obs.: pedestres treinados (staged pedestrians); população geral (unstaged pedestrians)

Análise para Ciclistas no U.S.HCM/6thEd (2016)

⇒ Unidade de Análise: trechos (unidirecionais, "homogêneos") da via arterial/coletora

Tabela 18-3 (16-5). Nível de Serviço para Ciclistas em Vias Urbanas - HCM/6thEd (2016)

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço para Ciclistas por Segmento	Nota de Nível de Serviço para Ciclistas por Link
A	≤2,00	≤1,50
B	>2,00-2,75	>1,50-2,50
C	>2,75-3,50	>2,50-3,50
D	>3,50-4,25	>3,50-4,50
E	>4,25-5,00	>4,50-5,50
F	>5,00	>5,50

⇒ **Procedimento de Análise:** analisa qualidade percebida apenas

Nota de qualidade de serviço percebida:

$$I_{b,seg} = 0,125 + 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{L/V_{Rbic}}{t_{vbic,s}} \cdot (\Delta_{ba} + I_{b,link} + 1)^3 + \frac{d_{cbic}}{t_{vbic,s}} \cdot (I_{b,int} + 1)^3}$$

onde $t_{vbic} = \frac{L}{V_{Rbic}} + d_{cbic}$ é o tempo de viagem ao longo do segmento

$$\Delta_{ba} = 0,035 \cdot \left(\frac{N_{ap,s}}{L(mi)} - 20 \right) = 0,056 \cdot \left(\frac{N_{ap,s}}{L(km)} - 12,5 \right) \text{ é a correção pela densidade de acessos}$$

($N_{ap,s}$ é o número de pontos de acesso no sentido analisado)

⇒ **Análise do Trecho:** $I_{p,link} = 0,760 + \Delta_w + \Delta_Q + \Delta_v + \Delta_p$ onde

$$\Delta_w = -\gamma_w \cdot W_e^2 \text{ onde } W_e \text{ é a largura efetiva da faixa externa direita}$$

$$\text{com } \gamma_w = 0,005 / \text{ft}^2 = 0,0005 / \text{m}^2$$

$$\Delta_Q = 0,507 \cdot \ln \left[\frac{Q_{ma}}{4 \cdot N_t} \right] \text{ onde } Q_{ma} \text{ tráfego ajustado (nas faixas diretas } N_t \text{)}$$

$$\text{com } Q_{ma} = Q_m \text{ ou } Q_{ma} = 4 \cdot N_t \text{ se } Q_m < 4 \cdot N_t$$

$$\Delta_v = 0,199 \cdot (0,8103 + 1,1199 \cdot \ln[V_{Ra} - 20 \text{mi/h}]) \cdot (1 + 0,1038 \cdot P_{HVa})^2$$

$$\text{com velocidade de percurso ajustada } V_{Ra} = V_R \text{ (} V_R \cong 15 \text{mph} = 24 \text{km/h)}$$

$$\text{ou } V_{Ra} = 21 \text{mi/h} = 33,6 \text{km/h se } V_R > 21 \text{mi/h} = 33,6 \text{km/h (?)}$$

$$\text{e porcentagem ajustada de veículos pesados } P_{HVa} = P_{HV}$$

$$\text{ou } 50\% \text{ se } P_{HV} > 50\% \text{ e } Q_m \cdot (1 - 0,01 \cdot P_{HV}) < 200 \text{v/h}$$

$$\Delta_p = \frac{7,066}{P_c^2} \text{ onde } P_c \text{ é o índice de condição do pavimento (TABELA 18-22)}$$

avaliação das larguras: se $p_k = 0$, então $W_t = w_{ol} + w_{bl} + w_{os}^*$ senão $W_t = w_{ol} + w_{bl}$

$$\text{se } Q_m > 160 \text{v/h ou há canteiro então } W_Q = W_t \text{ senão } W_Q = W_t \cdot (2 - 0,005 \cdot Q_m)$$

$$\text{se } w_{bl} + w_{os}^* < 4 \text{ft} (1,2 \text{m}) \text{ então } W_e = W_Q - 10 \text{ft} \cdot p_k = W_Q - 3 \text{m} \cdot p_k$$

$$\text{senão } W_e = W_Q + w_{bl} + w_{os}^* - 20 \text{ft} \cdot p_k = W_Q + w_{bl} + w_{os}^* - 6 \text{m} \cdot p_k \geq 0$$

onde w_{ol} é a largura da faixa direta externa, w_{bl} é a largura da ciclo-faixa

(se existente $w_{bl} = 0$), w_{os} é a largura do acostamento externo e

$$w_{os}^* = w_{so} - 1,5 \text{ft} (0,45 \text{m}) \text{ se há guia (senão } w_{os}^* = w_{so} \text{) é a largura ajustada}$$

⇒ **Análise da Interseção:** normalmente apenas para interseções semaforizadas
(em geral, nas interseções com sinalização de prioridade, arterial/coletora é preferencial)

$$\Rightarrow \text{Velocidade Média no Segmento: } \bar{V}_{b,seg} = \frac{L}{t_{bR} + d_{bc}} \begin{cases} > 10 \text{mi/h} (16 \text{km/h}) \text{ desejável} \\ < 5 \text{mi/h} (8 \text{km/h}) \text{ indesejável} \end{cases}$$

Tabela 18-22. Índice de Condição do Pavimento no HCM/6thEd (2016)

Índice de Condição do Pavimento	Descrição do Pavimento	Qualidade do Percurso e Velocidade de Viagem para Autos
4,0-5,0	Novo ou quase novo pavimento superior. Livre de trincas e remendos.	Bom percurso.
3,0-4,0	Pavimentos flexíveis podem começar a mostrar evidência de trilhos e trincas finas. Pavimentos rígidos podem começar a mostrar evidência de trincas menores.	Bom percurso.
2,0-3,0	Pavimentos flexíveis podem mostrar trilhos e remendos. Pavimentos rígidos podem ter algumas juntas com fratura, falha ou trinca.	Percurso aceitável para tráfego de baixa velocidade mas liminarmente tolerável para tráfego de alta velocidade
1,0-2,0	Defeitos ocorrem em 50% ou mais da superfície. Pavimentos flexíveis podem ter buracos grandes e trincas profundas. Defeitos nos pavimentos rígidos incluem fragmentação, remendos e trincas nas juntas.	Deterioração do pavimento afeta a velocidade do tráfego em fluxo livre. Qualidade de percurso não aceitável.
0,0-1,0	Defeitos ocorrem em 75% ou mais da superfície. Grandes buracos e trincas profundas presentes.	Passável apenas em velocidade reduzida e considerável desconforto no percurso.

Procedimento para QoS de Ciclistas em Aproximações de Semáforos:

TABELA 19-9 (18-3, Ciclista, Link). Nível de Serviço para Modo Pedestre e Bicicleta em Interseções SemafORIZADAS - HCM/6thEd (2016)

Nível de Serviço	Nota de Nível de Serviço
A	≤1,50
B	>1,50, ≤2,50
C	>2,50, ≤3,50
D	>3,50, ≤4,50
E	>4,50, ≤5,50
F	>5,50

Nota de Nível de Serviço (LS Score) para ciclistas: $I_{bic} = 4,1324 + \Delta_W + \Delta_Q$

$$\Delta_W = 0,0153 \cdot W_{cd} - 0,2144 \cdot W_{ot} \text{ onde,}$$

$$W_{ol} = W_{ol} + W_{bl} + I_{pk} \cdot W_{os}^* \text{ é a largura externa disponível}$$

(da faixa externa, da ciclo-faixa adjacente e do acostamento pavimentado)

sendo $I_{pk} = 1$ se não há estacionamento adjacente (0 caso contrário)

$$W_{os}^* = W_{os} - \delta_{vos} \text{ é a largura ajustada do acostamento}$$

com $\delta_{vos} = 1,5m$ se há guia adjacente (0 caso contrário)

W_t é a largura total do cruzamento (de meio-fio a meio-fio)

$$\Delta_Q = 0,0066 \cdot \frac{Q_t + Q_D + Q_E}{4 \cdot N_t}, \text{ onde}$$

Q_D é o fluxo de veículos na conversão à direita

Q_E é o fluxo de veículos na conversão à esquerda

Q_t é o fluxo de veículos adiante (fluxo direto)

N_t é o número de faixas exclusivas para fluxo adiante (diretas)

Procedimento para QoS Ciclistas em Interseções Não-Semaforizadas:

- capacidade: recomenda fórmula poissoniana mas não fornece brechas críticas
alguns valores (sumários) nos estudos referidos
exemplo: brecha crítica de 3,2 seg. na travessia de 2 faixas, sentido único
(menor que a observada para movimentos veiculares)
- atraso: recomenda usar as mesmas expressões adotadas para veículos
 - . adverte que ciclistas não formam fila nas aproximações;
(fora de interseções, assume 1,2m como largura da faixa “efetiva”)
 - . recomenda desprezar atrasos nas conversões à direita;
 - . adverte sobre as manobras com entrelaçamento com veículos.
 - . recomenda usar critério de nível de serviço de interseção semaforizada.

Nível de Serviço em Redes de Vias Urbanas no HCM/6thEd (2016)

⇒ Mesmos critérios e variáveis da análise de segmentos de vias urbanas ...
 agregação ponderada pela extensão (médias aritméticas ou harmônicas)

⇒ **Autos:** $\bar{V}_{FL} = \frac{\sum_s L_s}{\sum_s L_s / \bar{V}_{FLs}}$ (livre), $\bar{V}_M = \frac{\sum_s L_s}{\sum_s L_s / \bar{V}_s}$ (de viagem) e $\bar{H}_M = \frac{\sum_s H_s \cdot L_s}{\sum_s L_s}$

Tabela 16-3 (18-1). Nível de Serviço para Autos em Redes Urbanas - HCM/6thEd (2016)

Nível de Serviço	Limite de Velocidade Média por Velocidade Básica de Fluxo Livre							Razão Q/C
	55mi/h(88km/h)	50mi/h(80km/h)	45mi/h(72km/h)	40mi/h(64km/h)	35mi/h(56km/h)	30mi/h(48km/h)	25mi/h(40km/h)	
A	>44mi/h(70km/h)	>40mi/h(74km/h)	>36mi/h(58km/h)	>32mi/h(51km/h)	>28mi/h(45km/h)	>24mi/h(38km/h)	>20mi/h(32km/h)	≤1
B	>37mi/h(59km/h)	>34mi/h(54km/h)	>30mi/h(48km/h)	>27mi/h(43km/h)	>23mi/h(37km/h)	>20mi/h(32km/h)	>17mi/h(27km/h)	≤1
C	>28mi/h(45km/h)	>25mi/h(40km/h)	>23mi/h(37km/h)	>20mi/h(32km/h)	>18mi/h(29km/h)	>15mi/h(24km/h)	>13mi/h(21km/h)	≤1
D	>22mi/h(35km/h)	>20mi/h(32km/h)	>18mi/h(29km/h)	>16mi/h(26km/h)	>14mi/h(22km/h)	>12mi/h(19km/h)	>10mi/h(16km/h)	≤1
E	>17mi/h(27km/h)	>15mi/h(24km/h)	>14mi/h(22km/h)	>12mi/h(19km/h)	>11mi/h(18km/h)	>9mi/h(14km/h)	>8mi/h(13km/h)	≤1
F	≤17mi/h(27km/h)	≤15mi/h(24km/h)	≤14mi/h(22km/h)	≤12mi/h(19km/h)	≤11mi/h(18km/h)	≤9mi/h(14km/h)	≤8mi/h(13km/h)	≤1
F	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer	>1

Obs.: Limites de velocidade correspondem a 80% (A), 67% (B), 50% (C), 40% (D), 30% (E) da velocidade básica de fluxo livre.

⇒ **Pedestres:** $\bar{A}_p = \frac{\sum_s L_s}{\sum_s L_s / \bar{A}_{ps}}$, $\bar{V}_p = \frac{\sum_s L_s}{\sum_s L_s / \bar{V}_{ps}}$ e $\bar{I}_{ped} = 0,125 + 0,75 \cdot 3 \sqrt{\frac{\sum_s ((I_{ps} - 0,125)/0,75)^3 \cdot (L_s / \bar{V}_{ps})}{(\sum_s L_s) / \bar{V}_p}}$

Tabela 16-4 (18-2). Nível de Serviço p/Pedestres em Redes Urbanas - HCM/6thEd (2016)

Nota de Nível de Serviço para Pedestres	Espaço Médio por Pedestre em Circulação					
	>60ft ² /ped (5,6m ² /ped)	>40-60 ft ² /ped (3,7-5,6m ² /ped)	>24-40 ft ² /ped (2,2-3,7m ² /ped)	>15-24 ft ² /ped (1,4-2,2m ² /ped)	>8 [*] -15 ft ² /ped (0,75-1,4m ² /ped)	<=8 [*] ft ² /ped (0,75m ² /ped)
≤2,00	A	B	C	D	E	F
>2,00-2,75	B	B	C	D	E	F
>2,75-3,50	C	C	C	D	E	F
>3,50-4,25	D	D	D	D	E	F
>4,25-5,00	E	E	E	E	E	F
>5,00	F	F	F	F	F	F

*Com fluxos cruzados de pedestres, limite E/F é 13ft²/ped(1,2m²/ped)

⇒ **Ciclistas:** $\bar{V}_b = \frac{\sum_s L_s}{\sum_s L_s / \bar{V}_{bs}}$ e $\bar{I}_{bic} = 0,125 + 0,75 \cdot 3 \sqrt{\frac{\sum_s ((I_{bs} - 0,125)/0,75)^3 \cdot (L_s / \bar{V}_{bs})}{(\sum_s L_s) / \bar{V}_b}}$

Tabela 16-5 (18-3). Nível de Serviço para Ciclistas em Redes Urbanas - HCM/6thEd (2016)

Nota de Nível de Serviço para Ciclistas	Nível de Serviço
≤2,00	A
>2,00-2,75	B
>2,75-3,50	C
>3,50-4,25	D
>4,25-5,00	E
>5,00	F

Análise de Confiabilidade em Redes Urbanas

- ⇒ adota análise de confiabilidade do tempo de viagem introduzido em 2015 para vias urbanas pode eventualmente analisar outras variáveis (velocidades, filas, atrasos, etc ...) permite variar o controle de tráfego em função da condição de tráfego ...
- ⇒ procedimento: gera diversos cenários de interesse e avalia cada um (força bruta)
 - para vias arteriais usa metodologia de vias urbanas (Ch.16 do HCM/2016) ...
- ⇒ obtém distribuição de tempos de viagens avaliando resultados de cenários com:
 - variações recorrentes de demanda (hora do dia, dia da semana, mês do ano) ...
 - clima severo (chuva pesada, neve, ...) e incidentes (acidentes, paradas, ...)
 - obras na via e eventos especiais (incluindo medidas mitigadoras ...)
- ⇒ medidas de regularidade/confiabilidade do tempo de viagem:
 - **Índice de tempo de viagem** (TTI-Travel Time Index): razão entre o tempo (médio) de viagem (numa via ou trecho) e o tempo de viagem básico (de fluxo livre);
 - **Índice planejado de tempo de viagem** (PTI-Planning Time Index): razão entre o percentil 95 do tempo de viagem e o tempo de viagem básico (do tipo de via); (índice de política: substituir tempo de viagem básico por meta de tempo de viagem)

Índices de confiabilidade subjacentes à distribuição dos tempos de viagem:

 - medidas de variabilidade (variância e percentis 50, 85 ou 95 do tempo de viagem)
 - medidas de confiabilidade (porcentagem de falha/sucesso do tempo de viagem)

(**nota de confiabilidade**: %das viagens com tempo de viagem abaixo de TTI=1,33).

dados usuais de desempenho: $V_{95} = \frac{V_{FL}}{PTI}$, $\bar{\delta} = \frac{\bar{d}}{L} = \left(\frac{1}{\bar{V}} - \frac{1}{V_{FL}} \right) = \frac{1}{V_{FL}} \cdot (TTI_{médio} - 1)$, ...
- ⇒ muitos dados dificilmente transferíveis entre regiões (método exige dados locais)
 - fatores de variação da demanda (mês do ano, dia da semana, hora do dia);
 - incidência de eventos climáticos e de incidentes (incluindo composição e duração)
 - eventualmente também o impacto na via (pelo menos exige validação em campo)
- ⇒ método alternativo: análise de cenários contingenciais, considerados prováveis ... (ênfase: definir planos contingenciais ao invés de obter estatísticas de desempenho)

⇒ Procedimentos:

Cenários de análise para avaliação da regularidade/confiabilidade:

Período de Estudo T (usual: 1 a 6hs) dividido em período de análise (usual: 15min)

Período de Referência: período do ano, tipos de dia e períodos do dia considerados

Dados básicos: condições de demanda e oferta usuais (médio ou global; ex.:VDMA)

Fatores de Ajuste ou Variação: por mês, dia da semana, hora do dia, etc ...

Fatores de Ajuste ou Impacto de clima e incidentes: por tipo, intensidade, etc ...

Dados alternativos: condições especiais (períodos de obra, eventos, etc ...).

Ajuste da Demanda: $Q_{spa} = f_m \cdot f_d \cdot f_t \cdot Q_{sp}$ com $Q_{sp} = K_{sp} \cdot D \cdot VDMA$ (ou $Q_{spa} = DAF \cdot Q_{sp}$)

fatores de variação do mês do ano f_m , dia da semana f_d , da hora do dia f_t
(dados do HCM/2010 dificilmente são aplicáveis ao Brasil; obter dados locais)
(ignora efeito do clima e outros na demanda (em vias urbanas, o valor básico para dia com neve é redução de 20% ; para dia com chuva é redução de 0%))

- com dados detalhados de demanda: $Q_{pk}^j = Q_{pk}^{sj} \cdot \frac{f_p}{f_p^s}$ (s refere-se ao dado detalhado)

- sem dados detalhados de demanda: $Q_{pk}^{p15min} = f_p \cdot 4 \cdot K_{p15min} \cdot D \cdot \frac{AADT_k}{24}$ no segmento k
($f_p = f_m \cdot f_d \cdot f_t$ ou DAF e K_{p15min} para volume de tráfego do pico de 15min)

Ajuste da Oferta: alguns fatores de ajustamento básicos (*default*) ...

- vias arteriais: tempo básico definido com V85 (global) fora dos períodos de pico ...

clima: chuva ou neve; modelo de precipitação local (afeta incidentes)

dados: dias com precipitação, precipitação total, intensidade média e temperatura média por mês do ano (institutos meteorológicos)

incidentes: dados de tempos de detecção, resposta (função do clima) e de atendimento (função do tipo e severidade) para incidentes ...

ocorrência: dado local; segmento/interseção; via, hora: ~VKM ...

obras/eventos: dados do analista (incluindo controle); muito variáveis ...

(ver Tabelas 17-19, 17-10, 17-11, 17-12)

- geração de cenários em vias urbanas: períodos de estudo com duração T_{sp}
 - . variação determinística e aleatória (replicações: $N_r = \left(\frac{2 \cdot t_{1-\alpha/2} \cdot S}{\epsilon \cdot m} \right)^2$, erro $\pm \epsilon \cdot m$)
 - . obtém eventos de clima de um modelo simplificado de clima local: dados de dias c/precipitação N_{hm} , precipitação total média \bar{H}_m , intensidade por hora \bar{r}_m e temperatura média $\bar{\theta}_m$ por mês do ano (institutos meteorológicos)
 - probabilidade de precipitação: $p_{hm} = \frac{N_{hm}[\text{dias}]}{N_m[\text{dias}]}$ no mês m , aleatorizado ($\sim U$)
 - temperatura θ : para definir chuva (até 32°F, 0°C) ou neve (caso contrário)
 - θ aleatorizado: \sim Normal (média local $\bar{\theta}_m$, desvio padrão 5°F ou 2,8°C)
 - precipitação diária: \bar{h}_{dm} aleatorizado ($\bar{H}_d = \frac{H_m}{N_{hm}}$, desvio padrão s_{Hdm} , \sim Gama)
 - com $s_{Hdm} = \min\{2,5 \cdot \bar{h}_{dm}; 0,65 \text{in} = 16,5 \text{mm}\}$
 - intensidade: r_{md} aleatorizado (média \bar{r}_m e, desvio padrão $1,0 \cdot \bar{r}_m$, \sim Gama)
 - (para neve, os valores são multiplicados pela densidade relativa, ~ 10)
 - duração: $d_{am} = \frac{h_{md}}{r_{md}}$ para cada replicação (se h e r são independentes ...)
 - início do evento: aleatorizado (início na hora $T_{am} = 24 - d_{am}[\text{h}]$ no dia, $\sim U$)
 - pavimento molhado (após precipitação): escoamento (0,083h para chuva)
 - secagem: $0,888 \cdot e^{\beta_0} + 0,19 \cdot I_{noite}[\text{h}]$ com $I_{noite} = 1$ período noturno (0 c.c.)
 - com $\beta_0 = -0,0070 \cdot \bar{\theta}_m [^\circ \text{F}] = -0,224 - 0,0126 \cdot \bar{\theta}_m [^\circ \text{C}]$, p/chuva (0,5h p/neve)
 - (com neve, fator climático de redução de demanda $f_r=0,80$; demais $f_r=1,0$...)
 - . obtém incidentes com base em dados locais de acidentes por ano (8760h/ano) de interseções ou segmentos de via e proporção acidentes/incidentes ($\sim 0,2041$) (procedimento usa taxa equivalente/dia seco, com fatores da **Tabela 17-9**)
 - média $m_{lkpwi} = p_{lk} \cdot m_{lpw} \cdot p_{li}$ (p_{li} , p_{lk} da **Tabela 17-11,12**) onde
 - $m_{lpw} = \frac{\bar{m}_{Aeq}}{p_{A/I}} \cdot c_w \cdot f_h \cdot f_d \cdot f_m$ com $\bar{m}_{Aeq} = \frac{m_A}{\sum_w p_w \cdot c_w}$ (c_w da **Tabela 17-9**)
 - probabilidade aleatorizada (\sim Poisson): $p_{0k} = e^{-m_{lkpwi}}$ e $p_{1k} = 1 - p_{0k}$ ($p_{+1k} \cong 0$)
 - detecção: $\sim 2\text{min}$, resposta: $\sim 15\text{min}$ (20,4min c/neve), atendimento: **Tabela 17-10**
 - duração: aleatorizada, média $\bar{m}_d = t_{dt} + t_{rs} + t_{at}$, desvio padrão $0,8 \cdot \bar{m}_d$ (\sim Gama)
 - . obtém posição como interseção ou segmento, aleatorizada (proporção do tráfego) em cada aproximação da interseção ou direção do segmento (\sim empírica)
 - . obras na via e eventos especiais: todos os dados fornecidos pelo analista ...
 - . cenários operacionais: $c=p$, $o=w$ (le = início l=posição e=duração), por hora em T variação de demanda é sistemática (pode ser aleatorizada, mais replicações)
- todos os demais atributos são aleatorizados em cada hora das replicações ...
 (duração é arredondada em sub-períodos de 1h ou 15min, do início da hora) efetivo em reduzir o número de casos (mas exige mais replicações por caso)

efeito opcional: variação aleatória por manobra para períodos de 15min

$$\text{movimento } j, \text{ hora } h, \text{ interseção } i: f_{ijhpd} = \frac{1 - FHP_i}{FHP_i} \cdot \sqrt{0,25 \cdot Q_{ijhpd}} \cdot e^{-0,00679+0,004 \cdot (FHP_i)^4}$$

Q_{ijpd} aleatorizado (\sim Gama, média $0,25 \cdot Q_{ijhpd}$, desvio padrão $f_{ijhpd} \cdot \sqrt{0,25 \cdot Q_{ijhpd}}$)

(para acesso/egresso: $f_{ijhpd} = 1$, \sim Poisson se $Q_{ijhpd} \leq 64v/h$ senão \sim Normal)

fatores de ajuste por eventos climáticos em interseções semaforizadas:

. intensidade de precipitação: $R_{p,d}$ em in/h; $R_{Mp,d}$ em mm/h

$$\text{redução do fluxo de saturação: } f_{Rs,p,d} = \frac{1}{1 + \gamma_{Rs} \cdot R_{p,d}} = \frac{1}{1 + \gamma_{RsM} \cdot R_{Mp,d}},$$

$\gamma_{Rs} = 0,48$ p/chuva ($\gamma_{RsM} = 0,0189$); $\gamma_{Rs} = 0,39$ p/neve ($\gamma_{RsM} = 0,0154$);

$$\text{redução da velocidade fluxo livre: } f_{Rv,p,d} = \frac{1}{1 + \gamma_{Rv} \cdot R_{p,d}} = \frac{1}{1 + \gamma_{RvM} \cdot R_{Mp,d}},$$

$\gamma_{Rv} = 0,48$ p/chuva ($\gamma_{RvM} = 0,0189$); $\gamma_{Rv} = 1,4$ p/neve ($\gamma_{RvM} = 0,0551$);

sem precipitação mas com pavimento molhado: $f_{Rs,p,d} = 0,95$ e $f_{Rv,p,d} = 0,95$

sem precipitação mas pavimento com neve/gelo: $f_{Rs,p,d} = 0,90$ e $f_{Rv,p,d} = 0,90$

fatores de ajuste por incidentes (severidade) em interseções semaforizadas:

. severidade do incidente: $N_{b,p,d}$ (no.faixas bloqueadas) e

$B_{I,p,d}$ (efeito da gravidade do incidente: AcV:0,58; AsV:0,42; NAc:0,17)

$$\text{redução do fluxo de saturação: } f_{Is,p,d} = \left(1 - \frac{N_{b,p,d}}{N_f}\right) \left(1 - \frac{B_{I,p,d}}{N_f}\right) \geq 0,10,$$

$$\text{redução da velocidade fluxo livre: } f_{Iv,p,d} = \left(1 - \frac{B_{I,p,d}}{N_f}\right),$$

para cada movimento/grupo semaforico (\sim grupo de faixas) das aproximações

efeito combinado: $S_a = f_{Rs,p,d} \cdot f_{Is,p,d} \cdot S$ e $V_{FLa} = f_{Rv,p,d} \cdot f_{Iv,p,d} \cdot V_{FL}$ (e obras, outros eventos)

atraso adicional: $d_{outros} = L \cdot \left(\frac{1}{V_{FLa}} - \frac{1}{V_{FL}}\right)$, além do efeito no fluxo de saturação

efeito específico do clima na conversão à esquerda: +brecha crítica (Tabela 29-5)

TABELA 29-5. Efeito do Clima na Brecha Crítica para Conversão à Esquerda – HCM/6thEd (2016)

Condição de Clima	Claro, Pavimento com Neve	Claro, Pavimento com Gelo	Claro, Pavimento com Água	Nevando	Chovendo
Aumento da Brecha Crítica para Conversão à Esquerda	+0,9 seg	+0,9 seg	+0,7 seg	+1,2 seg	+0,7 seg

TABELA 17-9. Dados Básicos de Incidentes em Vias Urbanas – HCM/6thEd (2016)

Tipo de Condição	Intensidade da Condição
Fator de ajuste da taxa de acidentes pelo clima	Chuva: 2,00 Pavimento Molhado (sem chuva): 3,00 Neve: 1,50 Pavimento com neve/gelo (sem neve): 2,75
Tempo de detecção de incidente	2,0min (todas as condições de clima)
Tempo de chegada ao incidente	Claro, seco: 15,0min Chuva: 15,0min Pavimento Molhado (sem chuva): 15,0min Neve: 20,4min Pavimento com neve/gelo (sem neve): 20,4min
Tempo de atendimento ao incidente	Tabela 36-32
Probabilidade de incidentes	Tabela 36-33 e 36-34

TABELA 17-10. Dados Básicos de Atendimento a Incidentes em Vias Urbanas – HCM/6thEd (2016)

Localização na Via	Tipo de Evento	Localização Severidade na Faixa		Tempo de atendimento ao incidente (min)			
				Seco	Chuva	Pav.Molhado*	Neve**
Segmento	Acidente	1 faixa	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,4	28,6	29,7	53,7
		2+ faixas	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,5	28,6	29,7	53,7
		acostamento	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,5	28,6	29,7	53,7
	Não Acidente	1 faixa	F&V	10,8	5,6	5,7	14,6
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1
		2+ faixas	F&V	10,8	5,6	5,7	14,7
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1
		acostamento	F&V	10,8	5,6	5,7	14,7
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1
Interseção (Semáforo)	Acidente	1 faixa	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,4	28,6	29,7	53,7
		2+ faixas	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,5	28,6	29,7	53,7
		acostamento	F&V	56,4	42,1	43,5	76,7
			PDO	39,5	28,6	29,7	53,7
	Não Acidente	1 faixa	F&V	10,8	5,6	5,7	14,6
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1
		2+ faixas	F&V	10,8	5,6	5,7	14,7
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1
		acostamento	F&V	10,8	5,6	5,7	14,7
			PDO	6,7	2,4	2,8	9,1

Fonte: Vandehey et al. (2013) – SHRP 2 Project L08 Final Report

F&V: Fatal ou com Vítima; PDO: apenas dano material

*Pav.Molhado, sem chuva; **Neve: aplica-se também a pavimento com neve ou gelo.

TABELA 17-11. Dados Básicos de Distribuição de Incidentes em Vias Urbanas com Acostamento * – HCM/6thEd (2016)

Localização na Via	Tipo de Evento	Proporção P1	Localização na Faixa	Proporção P2	Tipo	Severidade Proporção P3	Proporção Conjunta (P1*P2*P3)			
Segmento	Acidente 0,358	1 faixa	0,335	F&V	0,304	0,036				
						2+ faixas	0,163	PDO	0,696	0,083
								F&V	0,478	0,028
	acostamento	0,502	PDO	0,522	0,030					
			F&V	0,111	0,020					
			PDO	0,889	0,160					
Não Acidente 0,642	1 faixa	0,849	Fila	0,836	0,456					
					2+ faixas	0,119	Outro	0,164	0,089	
									Fila	0,773
	acostamento	0,032	Outro	0,227	0,017					
					Fila	0,667	0,014			
					Outro	0,333	0,007			
Interseção	Acidente 0,310	1 faixa	0,314	F&V	0,378	0,037				
						2+ faixas	0,144	PDO	0,622	0,061
										acostamento
	Fila	0,865	0,084							
				PDO	0,588	0,026				
	Não Acidente 0,690	1 faixa	0,829	F&V	0,109	0,018				
2+ faixas						0,141	PDO	0,891	0,150	
									acostamento	0,030
Outro	0,151	0,086								
			Fila	0,865	0,084					
Outro	0,135	0,013								
			Fila	0,875	0,018					
			Outro	0,125	0,003					

* com permissão de estacionamento, ocupação deve ser inferior a 30%

TABELA 17-12. Dados Básicos de Distribuição de Incidentes em Vias Urbanas sem Acostamento * – HCM/6thEd (2016)

Localização na Via	Tipo de Evento	Proporção P1	Localização na Faixa	Proporção P2	Tipo	Severidade Proporção P3	Proporção Conjunta (P1*P2*P3)			
Segmento	Acidente 0,358	1 faixa	0,837	F&V	0,304	0,091				
						2+ faixas	0,163	PDO	0,696	0,209
										acostamento
	Fila	0,836	0,473							
				Outro	0,164	0,093				
	Fila	0,773	0,059							
Outro							0,227	0,017		
	Acidente 0,310	1 faixa	0,856	F&V	0,378	0,100				
						2+ faixas			0,144	PDO
acostamento							0,542	F&V		
	Fila	0,865	0,084							
				Outro	0,135	0,013				
Não Acidente 0,690	1 faixa	0,859	Fila				0,849	0,503		
								2+ faixas	0,141	Outro
				acostamento	0,030	Fila				
Outro	0,135	0,013								
			Outro				0,125	0,003		

* também se acostamento com permissão de estacionamento e ocupação for superior a 30%

Análise de Corredores e Áreas no U.S.HCM/2000

- ⇒ corredor: vias e modos paralelos e competidores entre os mesmos pontos.
 procedimento: análise em períodos de 1 hora (ao invés de 15 minutos);
 divisão em trechos mais longos (mais de um segmento);
 suposição de fila local (ignora o bloqueio à montante).

- ⇒ ajuste da demanda: análise dos nós pela posição relativa às entradas de fluxo;
 processamento pelo posto na posição relativa às entradas e pelo grau de saturação $X=Q/C$ na via:
 ajusta fluxo à capacidade e calcula filas;
 reduz demanda manifesta à jusante \hat{Q} ;
 transfere fila residual entre períodos;
 procedimento melhor que ajuste para sistemas expressos;

- ⇒ análise de desempenho: análise independente dos trechos, com demanda ajustada
 $T_a = f[\hat{Q}_a]$ utilizando os métodos usuais do HCM
 e fila (atraso) acumulado $A = \frac{T_p}{2} \cdot (n_0 + (\hat{Q}_a - C_a) \cdot T_p)$;
 medidas de utilização: PKM (ou VKM) e PHT (ou VHT)
 extensão (quilômetros totais) $PKM = \sum (AVO \cdot Q_a \cdot L_a)$
 e operação (horas totais) $PHT = \sum (AVO \cdot Q_a \cdot T_a)$
 (VKM e PHT com ocupação do veículo $AVO = 1$)
 medidas de desempenho: \bar{V} (velocidade) e \bar{d} (atraso)
 intensidade de congestionamento: $\bar{V} = \frac{PHT}{PKM}$
 (tempo médio de viagem $\bar{t} = \frac{PHT}{Q_{OD}}$, Q_{OD} : total O/D)
 atraso médio por viagem $\bar{d} = \frac{PHT - PHT_f}{Q_{OD}}$ com
 $PHT_f = \sum (AVO \cdot Q_a \cdot T_{fa})$, T_{fa} em fluxo livre
 medidas de congestionamento ($X=Q/C$ maior que 100%)
 extensão $L_{nt} = \sum L_{aX_t > 100\%}$, $H_n = \sum (N_{X_t > 100\%} \cdot T_{Pt})$
 fila em veículos $Q_{nt} = \sum \frac{(\hat{Q}_a - C_a) \cdot T_{Pt}}{N_f \cdot K_n}$ (fila local)

TABELA 19-6. Valores Padrão de Densidade em Fila- HCM/2000

Subsistema	Densidade em Fila (v/km/fx)	Espaçamento entre Veículos (m)
Vias expressas	75	13,3
Rodovias de pista simples	130	7,5
Vias urbanas	130	7,5

- ⇒ medidas de qualidade: variabilidade e acessibilidade, além da velocidade de tráfego

Comentários sobre os Procedimentos do U.S.HCM/6thEd (2016)

- ⇒ abandona o procedimento básico do HCM/97,2000 para corredor arteriais;
aprimora o método adotado pelo HCM/2010; adiciona análise de confiabilidade ...
- ⇒ melhor exemplo do novo enfoque multimodal, adotado desde o HCM/2010
detalha a influência de diversos fatores locais relevantes ...
(estacionamento permitido, acessos lindeiros, qualidade do pavimento, ...)
no entanto, o procedimento é ainda incipiente e pouco validado ...
introduz as notas de qualidade percebida como métrica comum
mas adota formulações empíricas, sem uma base conceitual forte ...
- ⇒ detalha influência de alguns tratamentos de circulação relevantes ...
(canalização dos fluxos de pedestres,
retornos e conversões permitidas/proibidas, ...)
- ⇒ considera efeito do fluxo sobre a velocidade operacional
no entanto, os dados existentes ainda são sumários e pouco confiáveis ...
- ⇒ método considera os diversos modos de forma heterogênea
para autos, nível de serviço pondera velocidade e capacidade
(nota de qualidade percebida é um aspecto complementar)
para pedestres, nível de serviço pondera espaço e qualidade percebida
para ciclistas, somente qualidade percebida é considerada
(opta por incorporar a velocidade na percepção de qualidade);
- ⇒ restrições físicas e proibições afetam indiretamente o nível de serviço.
- ⇒ análise de confiabilidade depende de dados locais e utiliza procedimentos específicos:
 - . variação sistemática dos cenários de demanda é dado básico inicial
(estudos sobre coeficientes de variação por período, dia e mês são usuais);
 - . abordagens distintas para representar eventos climáticos (com dados locais):
 - em vias expressas, exige dados detalhados ...
 - em vias urbanas, usa modelo simples (chuva/neve) ...
 - . abordagens distintas para representar incidentes (com dados locais de acidentes)
 - em ambos os casos, baseados em dados de acidentes (usuais);
 - relação agregada com incidentes (melhor detalhar com dados locais);
 - distribuições empíricas de ocorrências (também melhor com dados locais);
 - . abordagens distintas para variação sistemática (casos) e aleatória (replicações)
 - método para vias expressas gera muitos casos ...
 - método para vias urbanas exige muitas replicações ...

(provavelmente os métodos devem ser unificados em uma forma intermediária).
- ⇒ abandonou procedimentos para análise integrada de corredores e áreas maiores;