

Procedimento do HCM/97

- ⇒ calcula fluxo de saturação (e capacidade) por grupo de faixas (fluxo básico de saturação revisado 1900 veq/hv), considerando também o efeito da largura da faixa e da declividade

Ver Tabelas 9-5,7 e Fórmulas

- ⇒ considera separadamente os efeitos de movimentos de estacionamento (função do número de movimentos por hora), das paradas de ônibus (função do número de movimentos por hora), além de outros efeitos de interferência caracterizados por tipo de local, distinguindo fatores equivalentes por tipo de veículo apenas para caminhões

Ver Tabelas 9-6,8,9,10 e Fórmulas

- ⇒ trata a influência de movimentos de pedestres (com prioridade) sobre os fatores equivalentes dos movimentos de conversão sem fluxo oposto veicular

Ver Tabelas 9-11

- ⇒ trata a dependência entre fator equivalente e capacidade para os movimentos de conversão permitidos (de forma simplificada) e a interação entre movimentos permitidos e protegidos (mesmo com movimentos em ambos os estágios, permitido e protegido)

Ver Tabela 9-12/Supplemental Worksheets

- ⇒ adota o atraso médio de controle como medida de eficácia para estabelecer níveis de serviço (fórmula dinâmica com período de pico igual a 15 minutos ou ao período de saturação); incorpora de forma simplificada o efeito do tipo de controlador semafórico e da coordenação semafórica sobre os atrasos.

Ver Tabelas 9-1/2/13

Parâmetros que afetam a operação de interseções semaforizadas

Símbolo	Definição
Geometria	
CBD, Outros	Tipo de Área
N	Número de faixas
L (W)	Largura média das faixas, em metros
%i (%G)	Declividade, em porcentagem (+ é aclave, - é declive)
L _s	Existência de faixas exclusivas para conversão (S/N) à direita CD (RT) ou esquerda CE (LT) Extensão de armazenamento da baía de conversão à direita ou esquerda, em metros Existência de estacionamento lindeiro à via (S/N)
Tráfego	
q (V)	Volumes de tráfego, por movimento, em v/h
q _{f,max} (v _{g1})	Volume por faixa máximo, em v/h
S _b (s _o)	Fluxo de saturação básico (ideal), em veq/hv.fx
FHP (PHF)	Fator de hora-pico
%VP (%HV)	Porcentagem de veículos pesados
P (PEDS)	Fluxo de pedestres (conflitante), em ped/h
N _b	Número de paradas de ônibus na área da interseção, em manobras/h (*)
N _m	Número de movimentos de estacionamento na área da interseção, em manobras/h (*)
AT	Tipo de chegada (1 a 6)
P _g (P)	Proporção de chegadas no verde
Semáforo	
t _c (C)	Tempo de ciclo da operação do semáforo, em seg.
g (G)	Tempo de verde, em seg.
I (Y)	Tempo de entreverdes (amarelo mais vermelho de limpeza), em seg. Tipo de operação do semáforo (P/A, programado a tempos fixos ou atuado pelo tráfego) Existência de atuação (por botão) para pedestres (S/N)
g _{p,min} (G _p)	Tempo de verde mínimo para pedestres, em seg. Tipo de plano de operação semaforica

*Área da Interseção é tomada como a extensão de 75 m da linha de retenção de cada aproximação.

$$d_a = d_r + d_s \text{ onde } d_r = PF \cdot d_1 \text{ e } d_1 = \frac{(1-u)^2}{2 \cdot (1-u \cdot X)} \cdot t_c, X \leq 1 \text{ (0,5} \cdot r \text{ para } X \geq 1)$$

$$PF = \frac{(1 - P_g) \cdot f_p}{1 - u}, P_g = G_q \cdot u, G_q = \frac{q_g}{\bar{q}}, P_g = \frac{q_g \cdot g}{\bar{q} \cdot t_c} \text{ medidos (para } f_p, \text{ ver TABELA 9-13)}$$

(na ausência de dados, adotar AT=4 para fluxos diretos e AT=3 para conversões)

$$d_s = d_2 + d_3 \text{ com } d_2 = 900 \cdot T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot \kappa \cdot I \cdot X}{C \cdot T}} \right], \text{ sendo}$$

κ (k): fator de atraso incremental (função do tipo de controle, ver TABELA 9-14)

I (I): fator de ajustamento por regulação à montante, com valor $I = 1,0 - 0,91 \cdot X_u^{2,68}$

(em função de X_u do semáforo à montante) ou 1,0 para semáforos isolados

$$d_3 = \frac{1 + f_3}{2} \cdot \frac{n_0 \cdot T_0}{C \cdot T_p} \text{ e } f_3 = 1 - \frac{C \cdot T_p}{n_0 \cdot X_q} \text{ e } T_0 = T_p \text{ para } n_f = (X_H - 1) \cdot C \cdot T_p > 0$$

$$(X = \frac{Q}{C}, X_q = \frac{q}{C} \text{ e } X_H = \frac{VH}{C}), \text{ caso contrário } n_f = 0 \text{ e } T_0 = \frac{n_0}{C - Q} < T_p$$

d_3 é o efeito (determinístico) da fila inicial no período (ou sub-período anterior)

TABELA 9-1. Nível de Serviço para Interseções Semaforizada- HCM/97

Nível de Serviço	Atraso de Controle por Veículo (seg)
A	≤10
B	>10 e ≤20
C	>20 e ≤35
D	>35 e ≤55
E	>55 e ≤80
F	>80

Tabela 9-2. Relação entre Tipo de Chegada e Razão de Pelotão (R_p)- HCM/97

Tipo de Chegada	Faixa da Razão de Pelotão, R _p	Valor Padrão, R _p	Qualidade de Progressão
1	≤0,50	0,333	Muito pobre
2	>0,50 e ≤0,85	0,667	Desfavorável
3	>0,85 e ≤1,15	1,000	Chegada aleatória
4	>1,15 e ≤1,50	1,333	Favorável
5	>1,50 e ≤2,00	1,667	Muito favorável
6	>2,00	2,000	Excepcional

Obs.: A relação entre a razão de pelotão e a porcentagem do fluxo que chega no verde é $R_p = P_g/u$ onde u é a taxa de verde.

TABELA 9-13. Fator de Ajustamento (PF) para Atraso Uniforme (d₁)- HCM/97

Fator de Ajustamento de Progressão (PF)						
PF=(1-P) f _p /(1-u), u=g/t _c (ver observação)						
Taxa de Verde (g/t _c)	Tipo de Chegada (AT)					
	AT-1	AT-2	AT-3	AT-4	AT-5	AT-6
0,20	1,167	1,007	1,000	1,000***	0,833	0,750
0,30	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,40	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,50	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,60	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,70	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
f _p	1,000	0,930	1,000	1,150	1,000	1,000
R _p	0,333	0,667	1,000	1,333	1,667	2,000
Progressão	muito ruim	ruim	chegada aleatória	boa	muito boa	excepcional

Obs: * Tabulação é baseada em valores de atraso de f_p e R_p. **P= R_p. u (não deve exceder 1.0). *** PF não deve exceder 1.0 para AT-3 até AT-6.

TABELA 9-14. Fator de Atraso Incremental (k) por Tipo de Controlador (d₂)- HCM/97

Extensão de Verde (UE, seg.)	Grau de Saturação (X)					
	≤0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	≥1,0
≤2,0	0,04	0,13	0,22	0,32	0,41	0,50
2,5	0,08	0,16	0,25	0,33	0,42	0,50
3,0	0,11	0,19	0,27	0,34	0,42	0,50
3,5	0,13	0,20	0,28	0,35	0,43	0,50
4,0	0,15	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50
4,5	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50
5,0*	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50
Tempos Fixos	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Obs: Para um dado UE e seu valor k_{min} em X=0,5, a fórmula para k é $(1-2.k_{min}).(X-0,50)+k_{min}$, com $k_{min} \leq k \leq 0,5$.

* para EU>5,0 seg, extrapolar o valor de k mantendo $k \leq 0,5$

$S = \tilde{S}_b \cdot N \cdot f_L \cdot f_{VP} \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{bus} \cdot f_{loc} \cdot f_u \cdot f_{cd} \cdot f_{ce}$, onde

$S_b (s_0)$	fluxo básico de saturação, usualmente 1900 veq/hv.fx
$f_L (f_w)$	fator de correção devido à largura (Tabela 9-5)
$f_{VP} (f_{HV})$	fator de correção devido aos veículos pesados (Tabela 9-6)
$f_i (f_g)$	fator de correção devido à declividade (Tabela 9-7)
$f_{est} (f_p)$	fator de correção devido às manobras de estacionamento (Tabela 9-8)
$f_{bus} (f_{bb})$	fator de correção devido às paradas de ônibus (Tabela 9-9)
$f_{loc} (f_a)$	fator de correção devido ao tipo de local (Tabela 9-10)
$f_u (f_{LU})$	fator de correção devido à diferença de utilização das faixas ($f_u = (q/N)/q_{f,max}$)
$f_{cd} (f_{RT})$	fator de correção devido às conversões à direita (Tabela 9-11)
$f_{ce} (f_{LT})$	fator de correção devido às conversões à esquerda (Tabela 9-12)

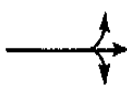
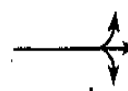
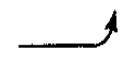
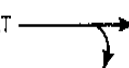
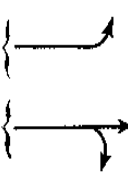
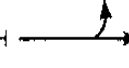

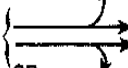
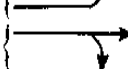
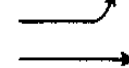


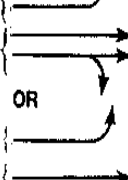
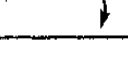
NO. OF LANES	MOVEMENTS BY LANES	LANE GROUP POSSIBILITIES
1	LT + TH + RT 	①  Single-lane approach
2	EXC LT  TH + RT 	② 
2	LT + TH  TH + RT 	①  OR ② 
3	EXC LT  TH  TH + RT 	②  OR ③ 

Figure 9-5. Typical lane groups for analysis.

TABELA 9-3. Valores Padrão por Omissão para Uso em Análises - HCM/97

Características	Valor por Omissão
Tráfego	
Fluxo de saturação ideal	1900 pcphgpl
Volume de pedestre conflitante (assumir nulo a menos que dados de campo indiquem o contrário)	Nenhum: 0 peds/h Baixo: 50 peds/h Moderado: 200 peds/h Alto: 400 peds/h
Porcentagem de veículos pesados	2
Rampa (%)	0
Número de paradas de ônibus	0/h
Condições de estacionamento	sem estacionamento
Manobras de estacionamento	20/h onde estacionamento existe
Tipo de chegada	
Grupos de faixas com movimentos diretos	3 se isolado; 4 se coordenado*
Grupos de faixas sem movimentos diretos	3
Fator de hora pico	0.90
Fator de correção por utilização de faixa	Ver tabela 9-4
Via e Semáforo	
Tipo de semáforo	Pré-programado
Faixa de tempo de ciclo	60-120 seg
Tempo perdido inicial	2,0 seg
Extensão de verde efetivo	2,0 seg
Amarelo + vermelho total	4.0 seg/estágio (para análise de planejamento)
Extensão de verde para atuação **	3,0 seg.
Tipo de área	fora do CBD
Largura de faixa	3,60 m

*Melhores tipos de chegada são muitas vezes possíveis com condições de progressão favoráveis.

** Extensão de verde para atuação pode variar bastante segundo condições locais.

TABELA 9-4. Valores Padrão por Omissão de Fatores de Utilização de Faixa- HCM/97

Movimento de Grupo de Faixas	Número de faixas no grupo de faixa	Porcentagem de tráfego na faixa para com uso mais intenso	Fator de utilização f_u (f_{LU})
Direto ou compartilhada	1	100,0	1,00
	2	52,5	0,95
	3*	36,7	0,91
Conversão à esquerda (LT) exclusiva	1	100,0	1,00
	2*	51,5	0,97
Conversão à direita (RT) exclusiva	1	100,0	1,00
	2*	56,5	0,88

* Se o grupo de faixas tem mais faixas que o número de faixas mostrado na tabela, é recomendável que uma pesquisa seja feita ou que o maior fator de utilização f_u (f_{LU}) seja usado para o tipo de grupo de faixa.

TABELA 9-5. Fator de Ajustamento para Largura de Faixa Média $f_L (f_w)$ - HCM/97

Largura de Faixa Média (m)	Fator de Largura de Faixa
2,4	0.867
2,7	0.900
3,0	0.933
3,3	0.967
3,6	1.000
3,9	1.033
4,2	1.067
4,5	1.100
4,8	1.133

Obs: $f_L = 1 + (L - 3,6)/9,0$ para $L \geq 2,4m$ (se $L > 4,8m$, a análise com 2 faixas pode ser considerada).

TABELA 9-6. Fator de Ajustamento para Veículos Pesados $f_{VP} (f_{HV})$ - HCM/97

Porcentagem de Veículos Pesados, %VP (%HV)	Fator de Veículos Pesados
0	1,000
2	0,980
4	0,962
6	0,943
8	0,926
10	0,909
15	0,870
20	0,833
25	0,800
30	0,769
35	0,741
40	0,714
45	0,690
50	0,667
75	0,571
100	0,500

Obs: $f_{VP} = 100/[100 + \%VP(e_{VP} - 1)]$ $0 \leq \%VP \leq 100$, onde $e_{VP} = 2,0$ passageiro de carro por veículos pesados.

TABELA 9-7. Fator de Ajustamento para Rampas $f_i (f_g)$ - HCM/97

Rampa, %i (%G)		Fator de rampa
Tipo	Porcentagem	
Declive em Nível Aclive	-6 ou menor	1,030
	-4	1,020
	-2	1,010
	0	1,000
	+2	0,990
	+4	0,980
	+6	0,970
	+8	0,960
	+10 ou mais	0,950

Obs: $f_i = 1 - \%i/200$ $-6 \leq \%i \leq +10$

TABELA 9-8. Fator de Ajustamento para Estacionamento $f_{est} (f_p)$ - HCM/97

Número de Faixas no Grupo de Faixas, N	Número de Estacionamentos	Número de Manobras por Estacionamento por Hora, N_m				
		0	10	20	30	40*
1	1,000	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700
2	1,000	0,950	0,925	0,900	0,875	0,850
3*	1,000	0,967	0,950	0,933	0,917	0,900

Obs: $f_{est} = [N - 0,1 - 18 N_m/3600]/N$ $0 \leq N_m \leq 180$ $0,05 \leq f_{est}$ *Usar fórmula para mais de 3 faixas ou mais de 40 manobras por hora.

TABELA 9-9. Fator de Ajustamento para Obstrução de Ônibus $f_{bus} (f_{bb})$ - HCM/97

Número de Faixas no Grupo de Faixas, N	Número de Paradas de Ônibus por Hora, N_b				
	0	10	20	30	40*
1	1,000	0,960	0,920	0,880	0,840
2	1,000	0,980	0,960	0,940	0,920
3*	1,000	0,987	0,973	0,960	0,947

Obs: $f_{bus} = [N - 14,4 N_b/3600]/N$ $0 \leq N_b \leq 250$ $0,05 \leq f_{bus}$ *Usar fórmula para mais de 3 faixas ou mais de 40 manobras por hora.

TABELA 9-10. Fator de Ajustamento para tipo de Área $f_{loc} (f_a)$ - HCM/97

Tipo de Área	Fator do Tipo de Área
CBD	0,90
Todas as Outras Áreas	1,00

Obs: Notação adotada (entre parênteses a notação HCM/97).

TABELA 9-11A. Fator de Ajustamento para Conversões à Direita f_{cd} (f_{RT}): Fórmulas-HCM/97

Casos 1-6: Faixas Exclusivas/Compartilhadas e Operação Protegida/Permitida				
$f_{cd} = 1,0 - P_{cd}[0,15 + (peds/2100)(1 - P_{cda})]$ $0,0 \leq P_{cd} \leq 1,0$ $0,0 \leq P_{cda} \leq 1,0$ $0 \leq peds \leq 1700$ $f_{cd} \geq 0,05$	Proporção conversão à direita (RT) no grupo de faixas=1,00 para faixa exclusiva (casos 1-3); <1,00 para faixa compartilhada (casos4-6) Proporção de conversão à direita (RT) no estágio protegido =1,00 para proteção completa- sem pedestres;<1,00 para permitida e conflito com pedestres Volume (peds/h) de pedestres em conflito com conversão à direita (RT) (se peds >1700, usar 1700)			
Caso 7: Aproximação de Faixa Simples o tráfego na aproximação em faixa simples, como definido na Figura 9-5)				(todo
$f_{cd} = 0,90 - P_{cd}[0,135 + (peds/2100)]$ $0,0 \leq P_{cd} \leq 1,0$ $0 \leq peds \leq 1700$ $f_{cd} = 1,00$ se $P_{cd} = 0,0$ $f_{cd} \geq 0,05$	Proporção de conversão à direita (RT) no grupo de faixa Volume (peds/h) de pedestres em conflito com conversão à direita (usar 0 se conversão à direita for completamente protegida)			
Caso	Faixa de Valores das Variáveis			Fórmula Simplificada
	P_{cd}	P_{cda}	peds	
faixa exclusiva de conversão à direita (RT); operação protegida	1,0	1,0	0	0,85
faixa exclusiva de conversão à direita (RT); operação permitida	1,0	0,0	0-1700	$0,85 - (peds/2100)$
faixa exclusiva de conversão à direita (RT); operação protegida + permitida	1,0	0-1,0	0-1700	$0,85 - (peds/2100)(1 - P_{cda})$
faixa compartilhada de conversão à direita (RT); operação protegida	0-1,0	1,0	0	$1,0 - P_{cd}[0,15]$
faixa compartilhada de conversão à direita (RT); operação permitida	0-1,0	0,0	0-1700	$1,0 - P_{cd}[0,15 + (peds/2100)]$
faixa compartilhada de conversão à direita (RT); operação protegida + permitida	0-1,0	0-1,0	0-1700	$1,0 - P_{cd}[0,15 + (peds/2100)(1 - P_{cda})]$
7 Aproximação de faixa simples	0-1,0	-	0-1700	$0,9 - P_{cd}[0,135 + (peds/2100)]$

Obs: Notação adotada (entre parênteses a notação HCM/97).

TABELA 9-11B. Fator de Ajustamento para Conversões à Direita: Fatores- HCM/97

Caso	P _{cd}	pedes	Proporção de Conversão à Direita (RT) no Grupo de Faixa, P _{cd}					
			Casos 4,5,6					Casos 1,2,3
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2 e 5	0.0	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 (baixo)	1.00	0.965	0.930	0.896	0.861	0.826
		100	1.00	0.960	0.921	0.81	0.842	0.802
		200(moderado)	1.00	0.951	0.902	0.853	0.804	0.755
		400 (alto)	1.00	0.932	0.864	0.796	0.728	0.660
		800	1.00	0.894	0.788	0.681	0.575	0.469
		1200	1.00	0.856	0.711	0.567	0.423	0.279
≥1700	1.00	0.808	0.616	0.424	0.232	0.050		
3 e 6	0.20	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 (baixo)	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831
		100	1.00	0.962	0.925	0.887	0.850	0.812
		200(moderado)	1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774
		400 (alto)	1.00	0.940	0.879	0.819	0.758	0.698
		800	1.00	0.909	0.818	0.727	0.636	0.545
		1200	1.00	0.879	0.757	0.636	0.514	0.393
	≥1700	1.00	0.840	0.681	0.521	0.362	0.202	
	0.40	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 (baixo)	1.00	0.967	0.934	0.901	0.869	0.836
		100	1.00	0.964	0.929	0.893	0.857	0.821
		200(moderado)	1.00	0.959	0.17	0.876	0.834	0.793
		400 (alto)	1.00	0.947	0.894	0.841	0.789	0.736
		800	1.00	0.924	0.49	0.773	0.697	0.621
		1200	1.00	0.901	0.803	0.704	0.606	0.507
	≥1700	1.00	0.873	0.746	0.619	0.491	0.364	
	0.60	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 (baixo)	1.00	0.968	0.936	0.904	0.872	0.840
		100	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831
		200(moderado)	1.00	0.962	0.925	0.887	0.850	0.812
		400 (alto)	1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774
		800	1.00	0.940	0.879	0.819	0.758	0.698
		1200	1.00	0.924	0.849	0.773	0.697	0.621
	≥1700	1.00	0.905	0.810	0.716	0.621	0.526	
	0.80	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 (baixo)	1.00	0.969	0.938	0.907	0.876	0.845
		100	1.00	0.968	0.936	0.904	0.872	0.840
		200(moderado)	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831
400 (alto)		1.00	0.962	0.925	0.887	0.850	0.812	
800		1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774	
1200		1.00	0.947	0.894	0.841	0.789	0.736	
≥1700	1.00	0.938	0.875	0.813	0.750	0.688		
1 e 4	1.00	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
7	-	0	1.00	0.873	0.846	0.819	0.792	0.765
		50 (baixo)	1.00	0.868	0.836	0.805	0.773	0.741
		100	1.00	0.863	0.827	0.790	0.754	0.717
		200(moderado)	1.00	0.854	0.808	0.762	0.716	0.670
		400 (alto)	1.00	0.835	0.770	0.705	0.640	0.575
		800	1.00	0.797	0.694	0.590	0.487	0.384
		1200	1.00	0.759	0.617	0.476	0.335	0.194
≥1700	1.00	0.711	0.522	0.333	0.144	0.050		

TABELA 9-12. Fator de Ajustamento para Conversões à Esquerda f_{ce} (f_{LT})- HCM/97

Caso	Tipo de grupo de faixa	Fator de Conversão à Esquerda							
	Faixa exclusiva de conversão à esquerda (LT)								
1	operação protegida	0,95							
2	operação permitida	Procedimento Especial; ver planilha na Figura 9-17 ou 9-18							
3	operação protegida + permitida	Aplicar caso 1 para operação protegida Aplicar caso 2 para operação permitida							
	Faixa de conversão à esquerda compartilhada (LT)								
4	operação protegida	Proporção de Conversões à Esquerda, P_{ce}							
		0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00		
	Fator	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95		
5	operação permitida	Procedimento Especial; ver planilha na Figura 9-17 ou 9-18							
6	operação permitida + permitida	$f_{ce} = (1400 - q_o) / [(1400 - q_o) + (235 + 0,435 q_o) P_{ce}]$, $q_{fo} = q_o / f_u \leq 1220 \text{vph}$ $f_{ce} = 1 / [1 + 4,525 P_{ce}]$, $q_{fo} = q_o / f_u \leq 1220 \text{vph}$							
		VOLUME Oposto, q_{fo}	Proporção de Conversões à Esquerda, P_{ce}						
		0	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
	0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86		
	200	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78		
	400	1,00	0,92	0,85	0,80	0,75	0,70		
	600	1,00	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61		
	800	1,00	0,83	0,71	0,62	0,55	0,49		
	1000	1,00	0,74	0,58	0,48	0,41	0,36		
	1200	1,00	0,55	0,38	0,29	0,24	0,20		
	≥1220	1,00	0,52	0,36	0,27	0,22	0,18		

Type of Left-Turn Lane	Effective Opposing Flow, $v_o = v_o / f_{LUo}$						
	1	200	400	600	800	1000	1200 ^a
Shared	1.4	1.7	2.1	2.5	3.1	3.7	4.5
Exclusive	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.3	4.0

^a Use formula for more than 1,200 effective opposing flow; v_o must be greater than zero.

$$E_{LT} = s_{TH} / s_{LT} \text{ (exclusive)}$$

$$E_{LT} = s_{TH} / s_{LT} - 1 \text{ (shared)}$$

$$s_{LT} = [v_o' \exp(-v_o' t_c / 3,600)] / [(1 - \exp(-v_o' t_f / 3,600))]$$

where

E_{LT} = through-car equivalent for permitted left turns;

s_{TH} = saturation flow of through traffic, vphgpl = 1900 vphgpl;

s_{LT} = filter saturation flow of permitted left turns, vphgpl;

t_c = critical gap, sec = 4.5 sec; and

t_f = follow-up headway, sec = 2.5 sec (exclusive), 4.5 sec (shared).

Figure 9-7. Through-car equivalents, E_{LT} , for permitted left turns (1).

Obs: Notação adotada (entre parênteses a notação HCM/97).

Conversão à esquerda no HCM-97

tempo perdido na dissipação da fila do fluxo oposto: $g_s = G_s - | \leq g_{ef}$ e $g_u = g - g_s$

$$\text{onde } G_s = \frac{q_{mf0} \cdot P_{r0} \cdot t_c}{S_{m0} - q_{mf0} \cdot \frac{P_{g0}}{u_0}} \text{ ou } G_s = 4,943 \cdot (q_{m0})^{0,762} \cdot (P_{r0} \cdot t_c)^{1,061} \text{ para faixa simples}$$

$$\text{com } q_{m0} = \frac{q_0}{N_0}, q_{mf0} = \frac{q_{m0}}{f_u}, S_{m0} = \frac{S_0}{N_0} \cong 0,5v/s \text{ e } P_{g0} = 1 - P_{r0} \text{ (TABELA 9-2)}$$

tempo com fluxo direto (sem bloqueio pela conversão): $g_f = G_f - \ell \leq g_s$ e $g_n = g_s - g_f$

$$\text{com } G_f = g \cdot e^{-0,882 \cdot N_{CE}^{0,717}} \text{ ou } G_f = g \cdot e^{-0,860 \cdot N_{CE}^{0,629}} \text{ para pista simples (} N_{CE} = p_E \cdot Q \cdot t_c \text{)}$$

conversão à esquerda no verde útil: $e_{CEu} \cong \frac{\tilde{S}_T}{C_{Eu}}$ e $n_u = C_{Eu} \cdot g_u$ com $C_{Eu} = \frac{e^{-q_{f0} \cdot \alpha_0}}{1 - e^{-q_{f0} \cdot \beta_{20}}} \cdot q_{f0}$

$$e_{CEu} = E_{L1} vt / vu \text{ com fluxo oposto } q_{f0} \text{ (FIGURA 9-7) e } \tilde{S}_T = 1900vd / hv$$

conversão à esquerda com movimento oposto bloqueado (em via de faixa simples):

$$e_{CEb} = E_{L2} vt / vb \text{ onde } E_{L2} = \frac{1 - p_{T0}^m}{p_{L0}}, m = \frac{g_s - g_f}{2} \text{ e } p_{T0} = 1 - p_{L0}$$

períodos de operação na faixa lateral: no verde efetivo $g = G - |$ (G de foco)!

1: opera q_T com s_T durante $g_f = G_f - \ell \leq g_s$

2: movimento direto oposto bloqueado $g_n = g_s - g_f$ (0 se $G_s < G_f$) com E_{L2}

3: operam ambos os movimentos $g_u = g - g_s$ ($g - g_f$ se $G_s > G_f$) com E_{L1}

$$\therefore f_L = \frac{g_f}{g} + \frac{g_u}{g} \cdot f_{CE}^1 + \frac{g_n}{g} \cdot f_{CE}^2, \text{ onde } f_{CE} = \frac{1}{1 + p_L \cdot (e_{CE} - 1)} \text{ com } E_{L1} \text{ ou } E_{L2}$$

onde f_L é o fator de aproveitamento da faixa esquerda da aproximação !

conversões no final do verde:

$$n_{CE} > n_{min} = n_f, n_f \cong 1 + p_L \Rightarrow f_L \geq \frac{(1 + p_L)/g}{S_m}, S_m \cong 1800v / hv$$

fator de composição para conversão à esquerda em N faixas: $f_{LT} = \frac{f_L + 0,91 \cdot (N - 1)}{N}$

(considerando o fator de utilização relativo de 0,91 para as demais faixas)

repartição dos fluxos: equilíbrio entre faixas, estágios (iterativo, incremental)

faixa lateral: conversões $p_{LT} \cdot q = p_L \cdot q_m$ (p_{LT} em q , p_L em q_m na lateral)

equilíbrio: $\frac{\tilde{q}}{N}$ igual em todas as faixas $\therefore p_L = p_{LT} \cdot [1 + \frac{N-1}{f_E}]$ onde $\bar{e}_E = \frac{1}{f_E}$

aproximação: $f_E = \frac{g_f}{g} + \frac{1}{E_{L1}} \cdot \frac{g_u}{g} + \frac{4,24}{g} = \frac{1}{\bar{e}_E}$ (para múltiplas faixas não há E_{L2} !)

no fluxo oposto: assume-se $\frac{S_0}{N_0} \cong 1800 v / hv = 0,5 v / sv$ (para evitar cálculo recíproco)

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS				
*** For Use Where the Subject Approach is Opposed by a Multilane Approach ***				
APPROACH	EB	WB	NB	SB
Enter Cycle Length, C				
Enter Actual Green Time For Lane Group, G				
Enter Effective Green Time For Lane Group, g				
Enter Opposing Effective Green Time, g _o				
Enter Number of Lanes in Lane Group, N				
Enter Number of Opposing Lanes, N _o				
Enter Adjusted Left-Turn Flow Rate, v _{LT}				
Enter Proportion of Left Turns in Lane Group, P _{LT}				
Enter Adjusted Opposing Flow Rate, v _o				
Enter Lost Time for Lane Group, t _L				
Compute Left Turns per Cycle: LTC = v _{LT} C/3600				
Compute Opposing Flow per Lane, Per Cycle: v _{oic} = v _o C/(3600N _o f _{LUo})				
Determine Opposing Platoon Ratio, R _{po} (Table 9-2 or Eq. 9-7)				
Compute g _r ** = G exp (-0.882 LTC ^{0.717}) - t _L , g _r ≤ g				
Compute Opposing Queue Ratio: qr _o = 1 - R _{po} (g _o /C) qr _o ≥ 0				
Compute g _q using Equation 9-16, g _q ≤ g				
Compute g _u : g _u = g - g _q if g _q ≥ g _r g _u = g - g _r if g _q < g _r				
Determine E _{L1} (Figure 9-7)				
Compute P _{L†} = P _{LT} [1 + {(N-1)g/(g _r + g _u /E _{L1} + 4.24)}]				
Compute f _{min} = 2(1 + P _L)/g				
Compute f _m : f _m = [g _r /g] + [g _u /g][1/(1 + P _L (E _{L1} -1))] min = f _{min} ; max = 1.00				
Compute f _{LT} = [f _m + 0.91 (N-1)]/N‡				

** For special case of single-lane approach opposed by multilane approach, see text.

† If P_L ≥ 1 for shared left-turn lanes with N > 1, then assume de facto left-turn lane and redo calculations.

‡ For permitted left turns with multiple exclusive left-turn lanes f_{LT} = f_m.

Figure 9-17. Supplemental Worksheet for Permitted Left Turns: Multilane Approach.

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR PERMITTED LEFT TURNS *** For Use Where the Subject Approach is Opposed by a Single lane Approach ***				
APPROACH	EB	WB	NB	SB
Enter Cycle Length, C				
Enter Actual Green Time for Lane Group, G				
Enter Effective Green Time for Lane Group, g				
Enter Opposing Effective Green Time, g _o				
Enter Number of Lanes in Group, N				
Enter Adjusted Left-Turn Flow Rate, v _{LT}				
Enter Proportion of Left Turns in Lane Group, P _{LT}				
Enter Proportion of Left Turns in Opposing Flow, P _{LT_o}				
Enter Adjusted Opposing Flow Rate, v _o				
Enter Lost Time for Lane Group, t _l				
Compute Left Turns per Cycle: LTC = v _{LT} C/3600				
Compute Opposing Flow per Lane, per Cycle: v _{ok} = v _o C/(3600f _{LU_o})				
Determine Opposing Platoon Ratio, R _{po} (Table 9-2 or Eq. 9-7)				
Compute g _f ** = G exp (-0.860 LTC ^{0.629}) - t _l g _f ≤ g				
Compute Opposing Queue Ratio: qr _o = 1 - R _{po} (g _o /C) qr _o ≥ 0				
Compute g _q = 4.943 v _{ok} ^{0.762} qr _o ^{1.061} - t _l g _q ≤ g				
Compute g _u : g _u = g - g _q if g _q ≥ g _f g _u = g - g _f if g _q < g _f				
Compute n = (g _q - g _f)/2, n ≥ 0				
Compute P _{THo} = 1 - P _{LT_o}				
Determine E _{L1} (Figure 9-7)				
Compute E _{L2} = (1 - P _{THo} ⁿ)/P _{LT_o} E _{L2} ≥ 1.0				
Determine f _{min} = 2(1 + P _{LT})/g				
g _{diff} = max(g _q - g _f , 0) g _{diff} = 0 when P _{LT_o} = 0				
Compute f _{LT} ** = f _m = [g _f /g] + [g _{diff} /g][1/(1 + P _{LT} (E _{L2} - 1))] + [g _u /g][1/(1 + P _{LT} (E _{L1} - 1))] min = f _{min} ; max = 1.00				

** For special case of multilane approach opposed by single-lane approach or when g_f > g_q, see text.

Figure 9-18. Supplemental Worksheet for Permitted Left Turns: Single-Lane Approach.

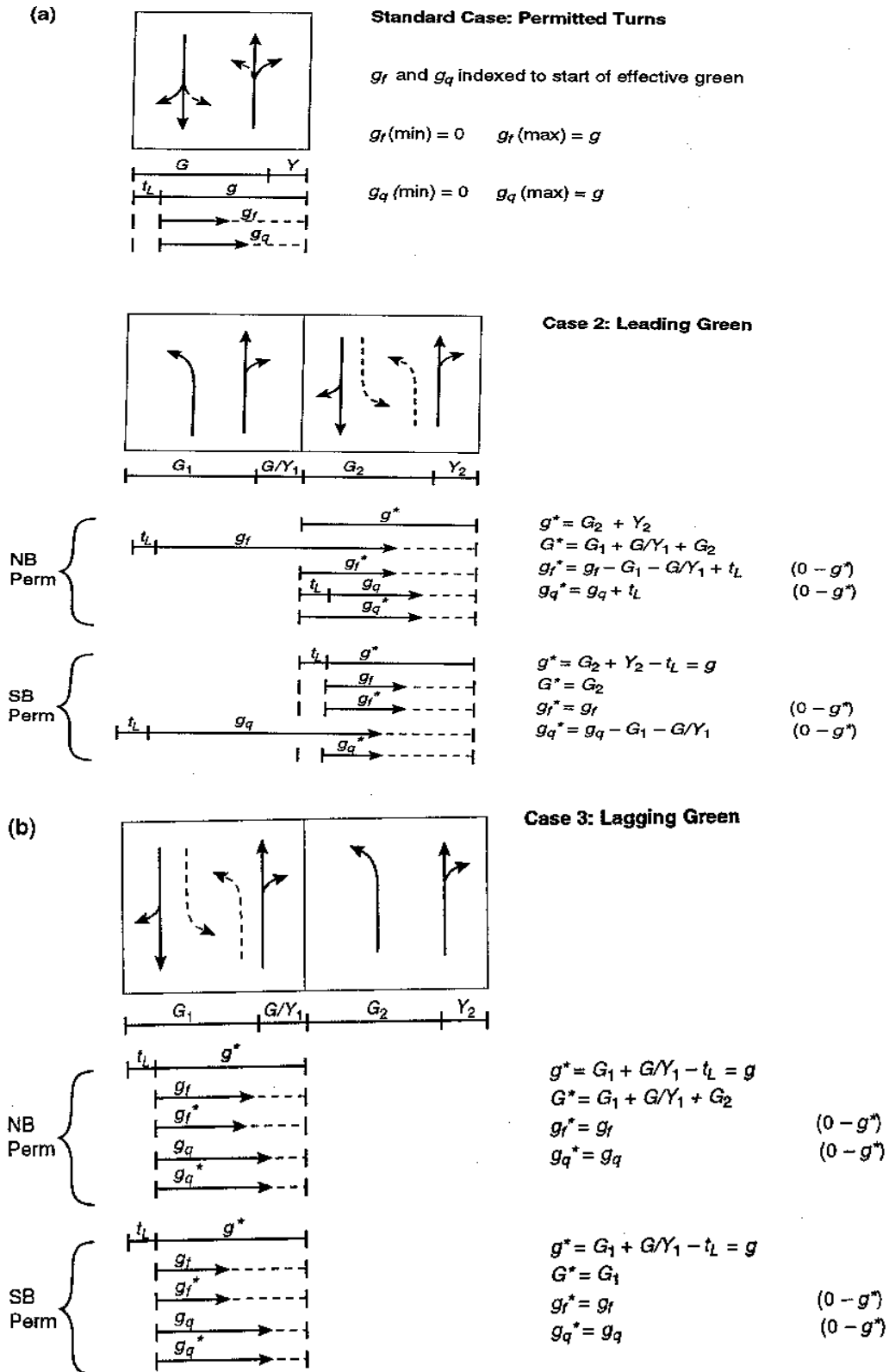
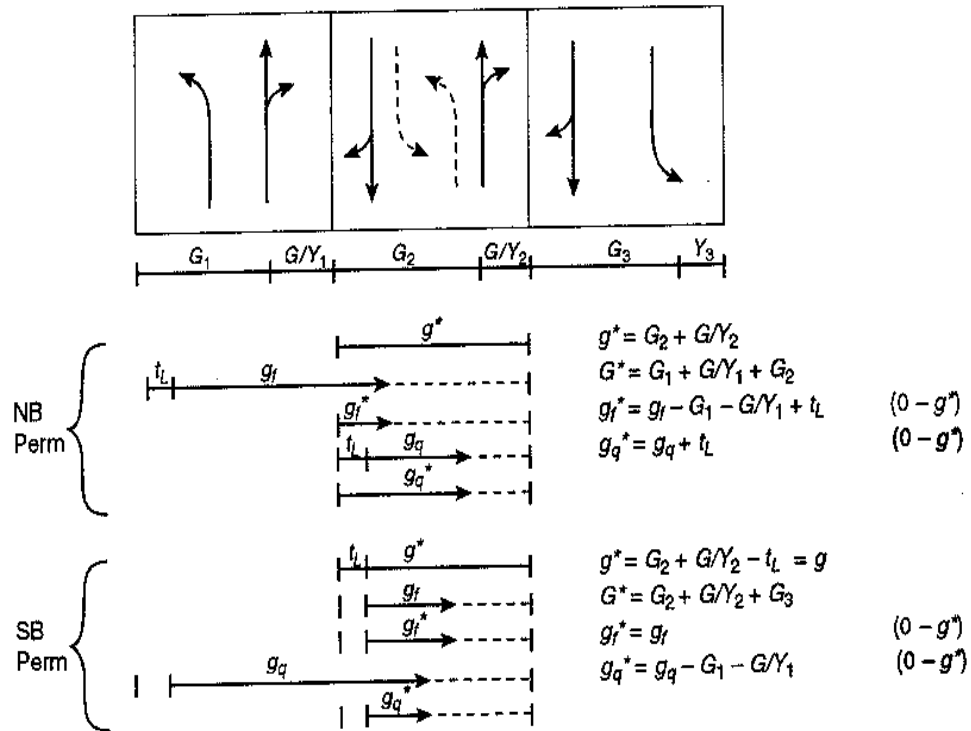


Figure 9-8. Green time adjustments for protected-plus-permitted phasing: (a) standard case and Case 2, (b) Cases 3 and 4, and (c) Case 5. (Continued on next page.)

Case 4: Leading and Lagging Green



Case 5: LT Phase with Leading Green

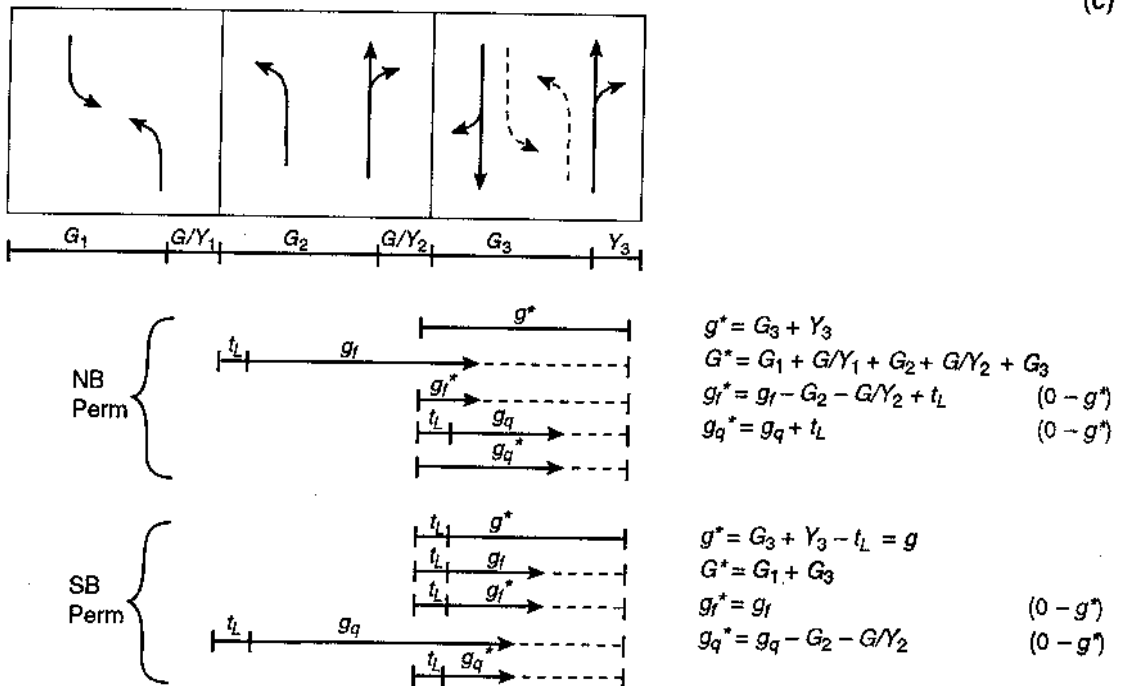


Figure 9-8 (continued).

SUPPLEMENTAL UNIFORM DELAY WORKSHEET FOR LEFT TURNS WITH PRIMARY AND SECONDARY PHASES

----- INPUT DATA: -----		EBLT	WBLT	NBLT	SBLT
Adj. LT vol from Vol. Adjustment Worksheet,	v	_____	_____	_____	_____
w/c ratio from Capacity Worksheet,	X	_____	_____	_____	_____
Signal timing intervals:					
Primary phase effective green,	g	_____	_____	_____	_____
Secondary phase green intervals,	g _s	_____	_____	_____	_____
*(From Supplemental Permitted LT Worksheet),	g _u	_____	_____	_____	_____
Cycle length, C _____ Red (C-g-g _s),	r	_____	_____	_____	_____
Arrival and Departure rates (veh/sec)					
Arrivals: v/(3600(max(X, 1.0))),	q _a	_____	_____	_____	_____
Primary ph. departures: s/3600,	s _p	_____	_____	_____	_____
*Secondary ph. departures: s(g _s +g _u)/(g _s x3600),	s _s	_____	_____	_____	_____
----- COMPUTATIONS -----					
	Protected + Permitted (Leading Lefts)	Permitted + Protected (Lagging Lefts)			
X _{perm}	q _a (g _s +g _u)/s _s g _u	q _a (r+g _s +g _u)/s _s g _u	_____	_____	_____
X _{prot}	q _a (r+g)/s _p g	N/A	_____	_____	_____
CASE					
1. X _{perm} <= 1.0 & X _{prot} <= 1.0		4. X _{perm} <= 1.0	_____	_____	_____
2. X _{perm} <= 1.0 & X _{prot} > 1.0		5. X _{perm} > 1.0	_____	_____	_____
3. X _{perm} > 1.0 & X _{prot} <= 1.0					
Uniform queue sizes at transition points					
Queue at beginning of green arrow,	Q _s	_____	_____	_____	_____
Queue at beginning of unsaturated green,	Q _u	_____	_____	_____	_____
Residual queue,	Q _r	_____	_____	_____	_____
Uniform delay from formulas below,	d ₁	_____	_____	_____	_____
CASE	Q_s	Q_u	Q_r	DELAY FORMULAS	
1.	q _a r	q _a g _s	0	d ₁ = [0.50/(q _a C)] [rQ _s + Q _s ² /(s _p -q _a) + q _a Q _u + Q _u ² /(s _s -q _a)]	
2.	q _a r	Q _r + q _a g _s	Q _s - g(s _p -q _a)	d ₁ = [0.50/(q _a C)] [rQ _s + g(Q _s +Q _r) + q _a (Q _r +Q _u) + Q _u ² /(s _s -q _a)]	
3.	Q _r + q _a r	q _a g _s	Q _u - g _s (s _p -q _a)	d ₁ = [0.50/(q _a C)] [g _s Q _u + g _s (Q _s +Q _r) + r(Q _r +Q _u) + Q _u ² /(s _s -q _a)]	
4.	0	q _a (r+g _s)	0	d ₁ = [0.50/(q _a C)] [(r+g _s)Q _u + Q _u ² /(s _s -q _a)]	
5.	Q _u - g _s (s _p -q _a)	q _a (r+g _s)	0	d ₁ = [0.50/(q _a C)] [(r+g _s)Q _u + g _s (Q _s +Q _r) + Q _u ² /(s _s -q _a)]	

* See limits for g_s and s_s discussed in Section III, Operational Analysis, Supplemental Uniform Delay Worksheet.

Figure 9-21. Supplemental Uniform Delay Worksheet for Left Turns from Exclusive Lanes with Primary and Secondary Phases.

Comentários sobre os procedimentos do HCM/97

VER EXERCÍCIO FLUXO DE SATURAÇÃO/HCM-97