FILAS E ATRASOS - COMPONENTES

Considere um semáforo com g=30 segundos de tempo de verde cuja duração do ciclo é t=1 minuto (portanto o tempo de vermelho é r=30 s), em que a capacidade por faixa é de 750 v/h (reduzida pela presença do semáforo) e há apenas 1 faixa de tráfego.

Considerando apenas a parcela correspondente à operação do tráfego com chegadas regulares, com um perfil uniforme ao longo do tempo, mostre que as fórmulas usuais de fila teórica $\bar{n}_r$ (média em um ciclo) em semáforos são:

$$\bar{n}_r = \frac{(t_c - g)}{2.t_c} \text{ para } X=0$$

$$\bar{n}_r = \frac{(1-u)^2}{2.(1-u.X)}.Q.t_c \text{, para } 0<X<1,$$

$$\bar{n}_r = \frac{(1-u)}{2}.C.t_c \text{ para } X \geq 1;$$

onde t_c é o tempo de ciclo, g é o tempo de verde ($u = g/t_c$ é a taxa de verde), Q é a demanda e C é a capacidade ($X = Q/C$ é o grau de saturação). Deduza ainda as fórmulas correspondentes para o atraso regular teórico.

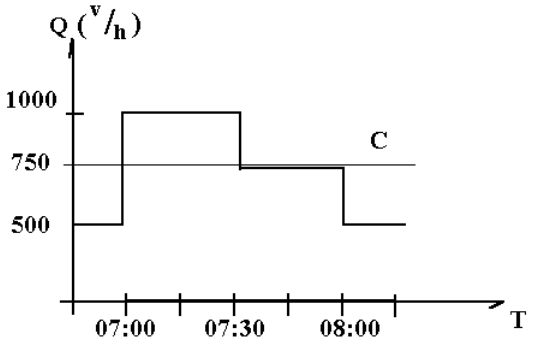
Discuta a composição da estimativas de fila teórica e atraso regular com a parcela referente à sobre-fila e ao sobre-atraso, avaliadas pelas fórmulas dinâmicas:

$$n_s = \frac{C.T_P}{2}.\left(\sqrt{A^2 + B} + A\right), \text{ onde}$$

$$A = \frac{(X-1).N_{MAX} - 2.\kappa.m.X + (N_{MAX} - 2.\kappa.m).(n_0/N_{MAX})}{N_{MAX} - \kappa.m} \quad \text{e} \quad B = \frac{4.\kappa.m.(n_0/N_{MAX} + X)^2}{N_{MAX} - \kappa.m}$$

(T_P é o período de tempo considerado, $N_{MAX} = C.T_P$ e $N_{MED} = Q.T_P = X.C.T_P$). Adote o coeficiente de aleatoriedade κ =1 (flutuação aleatória poissoniana).

Aplique as fórmulas discutidas para avaliar a evolução da fila teórica e estimar o atraso correspondente para o período de pico com o perfil de demanda seguinte:



Fora do período de pico (com Q=500 v/h), deve-se comparar o resultado obtido com a fórmula dinâmica em dois períodos sucessivos de $T_p = {}^1/_2$ h (a partir de uma fila nula) e com a fórmula estacionária da Teoria de Filas. O período de pico deve distinguir os dois períodos de $T_p = {}^1/_2$ h (com Q=1000v/h e Q=750v/h, respectivamente).

Discrimine os termos de fila/atraso regular uniforme e de sobre-fila/sobre-atraso (e os componentes de aleatoriedade e sobre-demanda da sobre-fila/sobre atraso) e sua evolução ao longo de um ciclo semafórico ou de um período de análise.

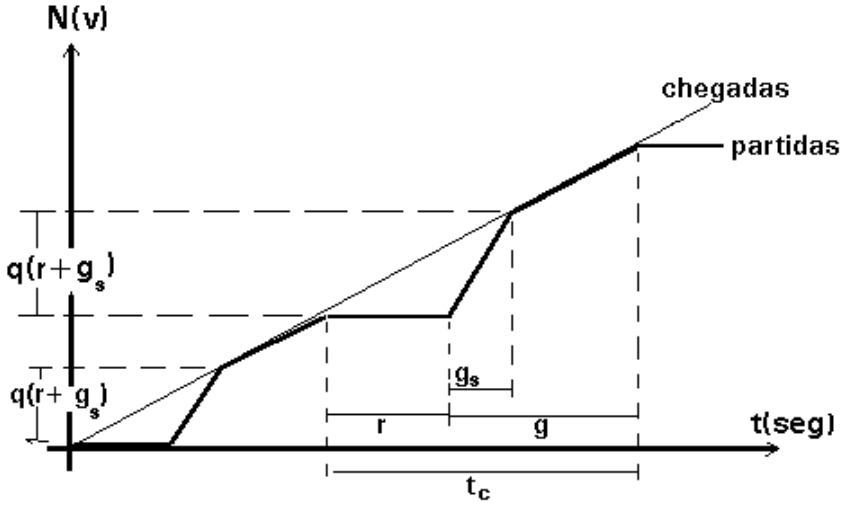
Discuta qual seria a melhor definição para a duração do período de pico.

Aplique a fórmula simplificada para esta definição e compare os resultados.

Por fim, discuta como aplicar os fatores de correção para filas às estimativas de fila teórica e de atraso correspondentes, considerando seus diversos componentes.

SOLUÇÃO:

As fórmulas de fila e atraso médios com chegadas regulares e uniformes podem ser deduzidas analisando a operação de um ciclo semafórico, na ausência de aleatoriedade e sobre-demanda, segundo o esquema a seguir:



Tanto a fila média quanto o atraso médio podem ser calculados a partir da área D entre as curvas de chegadas e saídas em um ciclo, que representa o atraso acumulado, por $\bar{d}_r = \frac{D}{N}$ e $\bar{n}_r = \frac{D}{T}$ onde N é o número de veículos e T o período de tempo observados.

Para calcular o atraso total acumulado para atendimento a uma demanda $q=Q$ com tempo de verde g e tempo de vermelho r (com $t_c = g + r$, sem distinguir tempos de entreverdes), tem-se que avaliar o tempo de dissipação da fila g_s. Tem-se que $q.(r + g_s) = S.g_s \Rightarrow g_s = \frac{q.r}{S - q}$, onde S é o fluxo de saturação.

Ainda, $g_s = \frac{q/S}{1 - q/S}.r = \frac{y.r}{1-y} \Rightarrow (r + g_s) = \frac{r.(1\text{-}y) + y.r}{1-y} = \frac{r}{1-y}$ e, portanto, $D_c = n_{max}.\frac{(r+g_s)}{2} = \frac{q.r}{2}.\frac{r}{1-y} = \frac{q.t_c^{\,2}.(1-u)^2}{2.(1-y)}$ (exprimindo o tempo de vermelho como $r = (1-u).t_c$, em função da taxa de verde efetivo $u = \frac{g}{t_c} = \frac{t_c - r}{t_c}$).

O volume de tráfego por ciclo é $N_c = q.t_c$, então $\bar{d}_r = \frac{D_c}{t_c} = \frac{(1-u)^2}{2.(1-u.X)}.t_c$ e $\bar{n}_r = \frac{D_c}{t_c} = \frac{(1-u)^2}{2.(1-u.X)}.q.t_c$, onde $X = \frac{q}{C} = \frac{y}{u}$ é a taxa de utilização da capacidade (dado que a capacidade é $C = u.S$; isto é, para este caso, uma capacidade $C = 750\ v/h$ corresponde a um fluxo de saturação $S = 1500\ v/h$). Note que as fórmulas satisfazem a relação geral $\bar{n}_r = q.\bar{d}_r$.

A fila (regular) no início do vermelho deve ser 0 (dado que este termo não considerera aleatoriedade nem sobre-demanda) e que a fila é máxima ao final do vermelho, tendo-se $n_{máx} = q \cdot r$ (que dissipa-se progressivamente ao longo do tempo de verde até g_s).

Os casos extremos tem de ser analisados separadamente, em função de certas particularidades importantes.

O caso de baixa demanda somente pode ser avaliado como situação limite, uma vez que $X \cong 0$ significa que o fluxo é nulo (o que tornaria o atraso ou fila indefinidos).

Neste caso, supondo que a probabilidade de chegada é uniforme ao longo do ciclo, podem ser feitas as seguintes considerações:

- ⇨ a probabilidade de um veículo chegar no tráfego no vermelho é r/t_c;
- ⇨ o atraso médio no vermelho é $r/2$ e sua fila média de $1/2$ veículo.

Portanto, a fila e o atraso médio para baixa demanda ($X \cong 0$) seriam dados por $\bar{n}_r = \frac{r}{2.t_c}$ e $\bar{d}_r = \frac{r^2}{2.t_c}$ (que não satisfazem a relação geral).

Note que há fila mesmo quando o fluxo é nulo, que corresponde a uma fila (atraso) de controle, que ocorreria devido à observação dos tempos de semáforo, mesmo que apenas um veículo estivesse na aproximação analisada (corresponde à influência do semáforo na condição de fluxo livre no semáforo para a corrente de tráfego analisada).

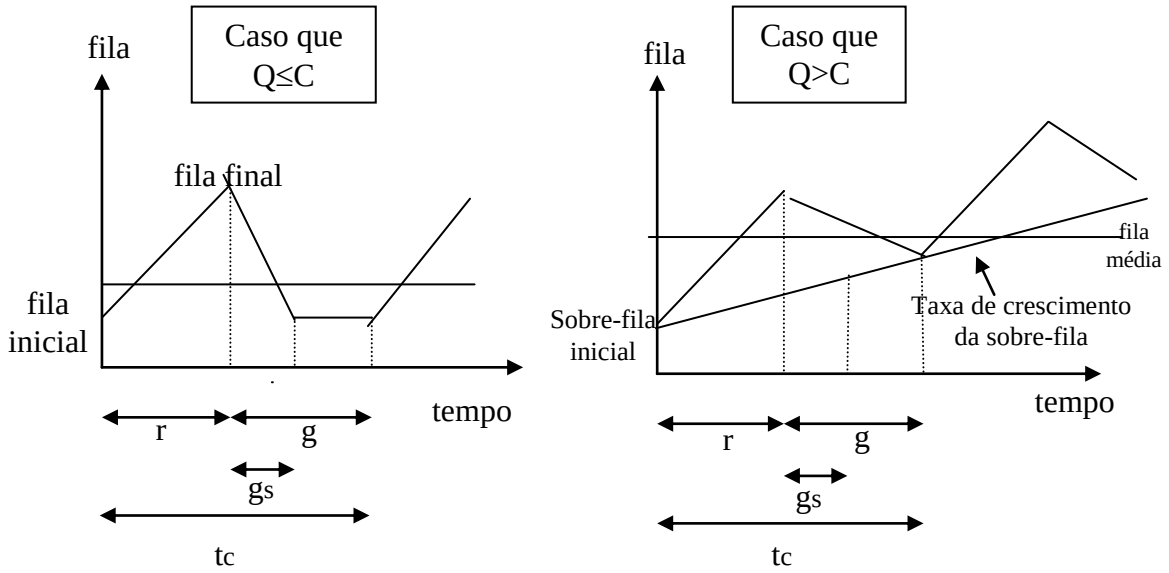
O caso de alta demanda ($X > 1$) também tem de ser analisado de forma particular, visto que corresponderia a filas crescentes ao longo do tempo devido à sobre-demanda (isto é, a fila não se anula durante o verde e cresce continuamente a cada ciclo, até que a sobre-demanda desapareça).

Como este efeito de sobre-demanda é usualmente avaliado nos termos de sobre-fila e sobre-atraso, nestes casos a fila e o atraso uniformes é estimada admitindo $X = 1$ (a situação limite que permite a avaliação com uma fórmula estacionária, sem aleatoriedade).

Portanto, tem-se que $X = 1 \Rightarrow u = y, q = C$ e, utilizando-se as fórmulas deduzidas acima, chega-se a $\bar{d}_r = \frac{(1-u)}{2}.t_c = \frac{r}{2}$ e $\bar{n}_r = \frac{(1-u)}{2}.C.t_c = \frac{r.C}{2}$.

A parcela complementar de fila e atraso seria estimada pelas fórmulas tradicionais, baseadas na aproximação por transformação de coordenadas. Por exemplo, as expressões para sobre-fila (média da aleatoriedade e sobre-demanda) dadas no enunciado.

Note que quando o semáforo fica imediatamente vermelho, há apenas a sobre-fila (que no início é nula) e, após a duração do período de vermelho temos uma fila máxima $n_{máx} = n_o + Q.r$. Isso tudo vale mesmo quando Q>C. Esquematicamente, teríamos:



No exemplo dado, a taxa de verde para a aproximação analisada no semáforo é constante ao longo do período e vale $u = \frac{30}{60} = 0{,}50$ (ou seja, 50%), assim como a capacidade é constante.

Fora do pico, $X = Q/C = \frac{500}{750} = 0{,}67$ e a fila (atraso) regular pode ser calculada diretamente por: $\bar{n}_r = \frac{(1-0{,}5)^2}{2.(1-0{,}5.0{,}67)}.\frac{500}{3600}.60 = 1{,}566$ v (e um atraso de $\bar{d}_r = \bar{n}_r / q = 1{,}566v / 500\ v/h = 11{,}275$ s)

A parcela correspondente à fila de controle seria $\bar{n}_u = \frac{(60-30)}{2.60} = 0{,}25$ v (e o atraso de controle $\bar{d}_r = r^2 / 2.t_c = 0{,}75.s$,que é observada quando o fluxo é nulo)

Em relação à sobre-fila no fora-pico, isto é, em decorrência do efeito da aleatoriedade, as condições de operação em termos de fila no final de cada período, admitindo dois períodos consecutivos de 1/2 hora fora do pico com uma fila inicial nula, seriam:

⇨ período 1: n_0=0, $X = \frac{500}{750} = 0{,}67$, $N_{MAX} = 750.0{,}5 = 375$, $N_{MED} = 500.0{,}5 = 250$

$$A = \frac{(0{,}67-1).375 - 2.1.1.0{,}67 + (375-2.1.1).{}^{0}\!/_{375}}{375-1.1} = -0{,}338 \text{ e}$$

$$B = \frac{4.1.1.({}^{0}\!/_{375} + 0{,}67)^2}{375-1.1} = 0{,}005 \therefore n_{1s} = \frac{375}{2}.\left(\sqrt{(-0{,}338)^2 + 0{,}005} - 0338\right) = 1{,}306 \text{ v}$$

⇨ período 2: n_0 = 1,306 (do período 1), $X = 0{,}67$, $N_{MAX} = 375$, $N_{MED} = 250$,

$$A = \frac{(0{,}67-1).375 - 2.1.1.0{,}67 + (375-2.1.1).(1{,}306/375)}{375-1.1} = -0{,}334 \text{ e}$$

$$B = \frac{4.1.1.((1{,}306/375) + 0{,}67)^2}{375-1.1} = 0{,}005$$

$$\therefore n_{2s} = \frac{375}{2}.\left(\sqrt{(-0{,}334)^2 + 0{,}005} - 0{,}334\right) = 1{,}333 \text{ v}$$

Com a fórmula estacionária, a estimativa de fila fora-pico seria $n_a = \frac{X^2}{1-X} = \frac{0{,}67^2}{1-0{,}67} = 1{,}333$ v (que foi atingida ao final do período 2). De forma geral, sem sobre-demanda, a fórmula dinâmica tem o valor de fila estacionário como valor assintótico e o tempo necessário para atingir o equilíbrio estacionário é tanto maior quanto maior a taxa de utilização X.

Note que o atraso pode ser estimado a partir das filas utilizando a fórmula geral $\bar{n}_r = q.\bar{d}_r$ (note que no período fora-pico, mesmo sem considerar a aleatoriedade, a fila varia ao longo do ciclo devido aos tempos de verde e vermelho, mas que filas e atrasos e seus valores médios não variam entre ciclos).

No período de pico é necessário utilizar a fórmula dinâmica (serão assumidos os valores da fórmula estacionária no fora-pico como dados iniciais no período seguinte).

Para ambos os períodos seguintes, o termo de fila (atraso) regular é calculado com X=1, tendo-se $\bar{n}_r = \frac{(1-0{,}5)^2}{2.(1-0{,}5.1)}.750.(\frac{1}{60}) = 3{,}125$ v .

As sobre-filas nos períodos do pico são:

⇨ período 1: $X = \frac{1000}{750} = 1{,}33$, $N_{MAX} = 750.0{,}5 = 375$, $N_{MED} = 1000.0{,}5 = 500$

$$A = \frac{(1{,}33-1).375 - 2.1.1.1{,}33 + (375 - 2.1.1).(1{,}333/375)}{375 - 1.1} = 0{,}331 \text{ e}$$

$$B = \frac{4.1.1.((1{,}333/375)+1{,}33)^2}{375-1.1} = 0{,}019 \therefore n_{1s} = \frac{375}{2}.\left(\sqrt{0{,}331^2 + 0{,}019} + 0{,}331\right) = 129{,}191 \text{ v}$$

⇨ período 2: $X = \frac{750}{750} = 1$, $N_{MAX} = 750.0{,}5 = 375$, $N_{MED} = 750.0{,}5 = 375$

$$A = \frac{(1-1).375 - 2.1.1.1 + (375 - 2.1.1).(129{,}191/375)}{375 - 1.1} = 0{,}338 \text{ e}$$

$$B = \frac{4.1.1.((129{,}191/375)+1)^2}{375-1.1} = 0{,}019 \therefore n_{2s} = \frac{375}{2}.\left(\sqrt{0{,}338^2 + 0{,}019} + 0{,}338\right) = 131{,}990 \text{ v}$$

A parcela da sobre-fila correspondente à sobre-demanda é calculada com a fórmula determinística, $n_T = n_0 + (Q - C).T$, e o resíduo é a estimativa atribuível ao efeito da aleatoriedade. Portanto, $n_{1T} = 1{,}333 + (1000 - 750).0{,}5 = 126{,}333$ e $n_{2T} = 126{,}333$ (visto que $Q=C$ no período 2). Note que a sobre-fila aleatória passa de 2,859 no período 1 para 5,657 no período 2, ainda crescendo porque está tendendo a um valor assintótico de equilíbrio (da mesma forma que no caso estacionário).

Os cálculos e observações acima podem ser analisados na planilha abaixo, que contém o período pré-pico, o período de pico e o período de pós-pico, onde ocorre a dissipação da sobre-fila do período de pico.

	pré-pico		pico		pós-pico	
	período 1	período 2	período 1	período 2	período 1	período2
demanda(v/h)	500	500	1000	750	500	500
capacidade(v/h)	750	750	750	750	750	750
X	0,67	0,67	1,33	1,00	0,67	0,67
fila média(v)	250	250	500	375	250	250
fila máxima(v)	375	375	375	375	375	375
fila inicial(v)	0	1,306	1,333	129,191	131,990	22,391
A	-0,338	-0,334	0,331	0,338	0,013	-0,278
B	0,005	0,005	0,019	0,019	0,011	0,006
sobre-fila(v)	1,306	1,333	129,191	131,990	22,391	1,868
fila regular(v)	1,566	1,566	3,125	3,125	1,566	1,566
fila média total(v)	2,872	2,899	132,316	135,115	23,957	3,434
início do vermelho(v)	1,306	1,333	129,191	131,990	22,391	1,868
fim do vermelho(v)	5,472	5,499	137,525	138,240	26,557	6,035

Note ainda que a fila não dissipou totalmente mesmo no final do período 2 e está novamente tendendo ao valor assintótico correspondente à demanda fora-pico, mesmo quando não havia mais sobre-demanda. Portanto, a operação continua saturada mas a causa da saturação resume-se à sobre-demanda que ocorreu no período entre 07:00 e 07:30 h da manhã. No caso analisado, pode-se ponderar que as filas permanecem grandes (e mesmo crescentes) no período entre 07:30 e 08:00 h e incluí-lo também.

Teoricamente, este período de sobre-demanda seria o pico (em sentido estrito) e seria diferente do período de saturação (que inclui o período de recuperação). Esta distinção é muitas vezes ignorada e produz resultados inadequados com a aplicação de fórmulas dinâmicas. As opções razoáveis seriam 07:00 a 07:30 h ou 07:00 a 08:00 h.

Outro aspecto que deve ser observado é que, com regime transiente existem duas definições alternativas para o atraso em um período: a medida de atraso de todos os veículos em fila no período (mais fácil de medir) e a medida de atraso para os veículos que chegam no período (que depende das condições de operação após o período de chegada). Em cada período do regime transiente a fórmula básica $n = q.d$ não pode ser aplicada mas ainda permanece válida para o período integral que inclui o período de pico e de recuperação. Existem formulações que aplicam as fórmulas dinâmicas com um terceiro termo para avaliar o efeito de filas iniciais (como faz o HCM 2000 e 2010).

Vale, entretanto, a relação entre posição na fila e tempo de atendimento que no caso de capacidade constante pode ser expressa por $d_s = {n_s}/{C}$, mesmo em regime transiente (note que $q = C < Q$ com sobre-demanda). A relação básica $n = q.d$ volta a ser válida para o período como um todo (incluindo a formação e dissipação das filas geradas pela sobre-demanda).

Por fim, note que, como o tempo de atendimento ao veículo no semáforo está incluído na fila (atraso) regular (em geral admitido uniforme, sem pelotões), as fórmulas de sobre-fila são as correspondentes a n e d (ao invés de L e W). Posteriormente são feitas as correções correspondentes a adicionar o termo regular e considerar a dimensão física das filas (as fórmulas calculam as filas teóricas de desbalanceamento).

Observe também que a fórmula dinâmica aproximada para $n_0 \ll C.T$ seria

$$n_s = \frac{C.T}{2}.\left(\sqrt{\tilde{A}^2 + \tilde{B}} + \tilde{A}\right) \text{ com } \tilde{A} = (X - 1)\ ,\ \tilde{B} = {4.\kappa.X^2}/{C.T}\ ,$$

que estima valores de sobre-fila independentes da fila inicial (que é desprezada).

No entanto, no caso de aplicar a fórmula simplificada, usualmente utilizam-se hipóteses específicas para estimar a sobre-fila média (ou sobre-atraso médio), calibradas em função de observação em campo dos diversos cenários possíveis de demanda (um aspecto difícil, como será percebido da discussão a seguir).

De forma geral, as diversas fórmulas simplificadas propostas são generalizadas por:

$$\bar{n}_s = \frac{C.T}{4}.X^{n1}.\left(\sqrt{\tilde{A}^2 + \tilde{B}} + \tilde{A} + \delta_0\right) \text{ com } \tilde{A} = (X - 1)\ ,\ \tilde{B} = {m.\kappa.(X - X_0)^{n2}}/{C.T}$$

(onde n_1, n_2, m, δ_0, e X_0 são distintos nas diferentes formas recomendadas).

A simplificação imediata das fórmulas detalhadas anteriormente discutidas, por exemplo, seria (com n_1=0, n_2=2, m=4, $\delta_0 = 0$ e X_0=0):

$\bar{n}_s = \frac{C.T}{4}.\left(\sqrt{\tilde{A}^2 + \tilde{B}} + \tilde{A}\right)$ com $\tilde{A} = (X-1)$, $\tilde{B} = 4.\kappa.X^2 / C.T$,

(consistente com a condição de fila inicial desprezada e variação de fila uniforme).

A forma simplificada proposta pelas versões recentes do HCM americano (para sobre-atraso, traduzida para sobre-fila), seria (com n_1=0, n_2=1, m=8, $\delta_0 = 0$ e X_0=0):

$\bar{n}_s = \frac{C.T}{4}.\left(\sqrt{\tilde{A}^2 + \tilde{B}} + \tilde{A}\right)$ com $\tilde{A} = (X-1)$, $\tilde{B} = 8.\kappa.X / C.T$,

(ignorando o termo relativo à contribuição da fila inicial).

Portanto, a fórmula dinâmica aproximada fornece a fila média decorrente (não pode ser usada para avaliar a evolução das filas, apenas o valor médio ou final) e seu emprego normalmente exige a calibração de fatores de ajuste e sua aplicação é feita com $T = T_P$ (onde T_P é a duração do período de pico, segundo o conceito especifico adotado).

A discussão a seguir ilustra que dificilmente a calibração de campo é suficiente para garantir boa aproximação em todos os cenários de demanda (embora possa ter precisão suficiente para a grande maioria dos cenários usuais).

Tome-se, por exemplo, a fórmula simplificada adotada pelo HCM americano (pretensamente a mais amplamente estudada e aplicada), partindo de um período em que a fila inicial é desprezível (compatível com ignorar a contribuição da fila inicial).

Adotando o período de pico de 07:00 a 07:30 h, tem-se $T = 0{,}5h = 1800s$ com $Q = 1000v/h$ e, $C = 750v/h$, tendo-se:

$\tilde{A} = (X-1) = \frac{1000}{750} - 1 = 0{,}333$, $\tilde{B} = 8.1.1{,}333 / 750.0{,}5 = 0{,}0284$,

e $\bar{n}_s = \frac{750.0{,}5}{4}.\left(\sqrt{0{,}333^2 + 0{,}0284} + 0{,}33\right) = 65{,}7v$

comparável com o valor médio do início e final do período previstos com a análise dinâmica ($\bar{n}_s = \frac{1{,}333 + 129{,}191}{2} = 65{,}3v$).

Adotando o período de pico de 07:00 a 08:00 h, tem-se $T = 1h = 3600s$ com $\bar{Q} = \frac{1000 + 750}{2} = 875v/h$ e, $C = 750v/h$, tendo-se:

$\tilde{A} = (X-1) = \frac{875}{750} - 1 = 0{,}167$, $\tilde{B} = 8.1.1{,}167 / 750.1 = 0{,}0124$,

e $\bar{n}_s = \frac{750.1}{4}.\left(\sqrt{0{,}167^2 + 0{,}0124} + 0{,}167\right) = 68{,}9v$

incompatível com os valores médios dos dois sub-períodos previstos com a análise dinâmica ($\bar{n}_s = \frac{1}{2}.\left(\frac{1{,}333 + 129{,}191}{2} + \frac{129{,}191 + 131{,}990}{2}\right) = 97{,}9v$).

Portanto, a fórmula simplificada não é capaz de incorporar o efeito da flutuação interna com precisão (esta observação justifica o interesse na análise dinâmica, mais trabalhosa).

O termo relacionado à contribuição da fila inicial foi originalmente proposto na calibração da fórmula simplificada de atraso para o HCM de 1997, que passou a adotar uma fórmula de 3 termos (atraso regular, sobre-atraso e ajuste pela fila inicial), com:

$d_3 = 0$, se a fila inicial n_0 é nula;

$d_3 = \frac{1}{2}.\frac{n_0}{C}.\frac{T_n}{T}$, se a fila inicial não é nula mas dissipa-se em $T_n = \frac{n_0}{C-Q} < T$;

$d_3 = \frac{n_0}{C} - \frac{T}{2}.\left(1 - \text{mín}\left\{1, \frac{Q}{C}\right\}\right)$, se a fila inicial e residual não são nulas.

De forma correspondente, a contribuição para a fila média seria:

$\delta n_3 = 0$, se a fila inicial n_0 é nula;

$\delta n_3 = \frac{n_0}{2}.\frac{T_n}{T}$, se a fila inicial não é nula mas a dissipação em $T_n = \frac{n_0}{C-Q} < T$;

$\delta n_3 = n_0 - \frac{C.T}{2}.\left(1 - \text{mín}\left\{1, \frac{Q}{C}\right\}\right)$, se a fila inicial e residual não são nulas.

Note-se que a contribuição da fila inicial (avaliado com as expressões originalmente propostas) é avaliada como termo determinístico: se $q = Q < C$, $n_f = n_0 + (Q-C).T_n = 0 \Rightarrow T_n = \frac{n_0}{C-Q} = \frac{n_0}{C-q}$ ocorre dissipação em T se $T_n < T$, sendo a fila média igual a $\frac{n_0 + n_f}{2} = \frac{n_0}{2}$ em T_n e nula em $T - T_n$ (obtendo a expressão acima); se $T_n > T$, a fila residual em T será $n_f = n_0 + (Q-C).T$ e a fila média será $\frac{n_0 + n_f}{2} = n_0 + \frac{(Q-C).T}{2}$, enquanto que a fila cresce se $q = C < Q$ e a contribuição da fila inicial é tomada como constante n_0, porque o efeito da sobre-demanda é avaliada no termo relacionado com a sobre-fila (ou sobre-atraso, de forma correspondente).

Por ser avaliada de forma determinística, a contribuição da fila inicial poderia, portanto, ser alternativamente considerada uma parcela a ser incluída no termo regular (quando a fila inicial não é desprezível). Note-se, entretanto, que o termo relacionado com a sobre-fila considera tanto a situação com demanda maior que a capacidade quanto a situação com a demanda é menor que a capacidade, tornando discutível a recomendação de avaliação da contribuição da fila inicial do HCM de 1997.

As versões seguintes do HCM americano alteraram a forma de avaliar a contribuição da fila inicial, sem clara exposição de conceito e validação em campo. No entanto, embora introduza um efeito que seria relevante entre os sub-períodos, pode-se perceber que este termo não é capaz de capturar a discrepância entre os valores estimados com a fórmula simplificada tomando o período de pico como um todo.

Por fim, deve-se observar que toda a análise feita até aqui utilizou estimativas de fila teórica (e atraso correspondente), que despreza o efeito da dimensão horizontal das filas. A composição aditiva dos termos componentes da fila (e atraso) também é uma hipótese adotada. Ambos os aspectos podem eventualmente ter de ser corrigidos.