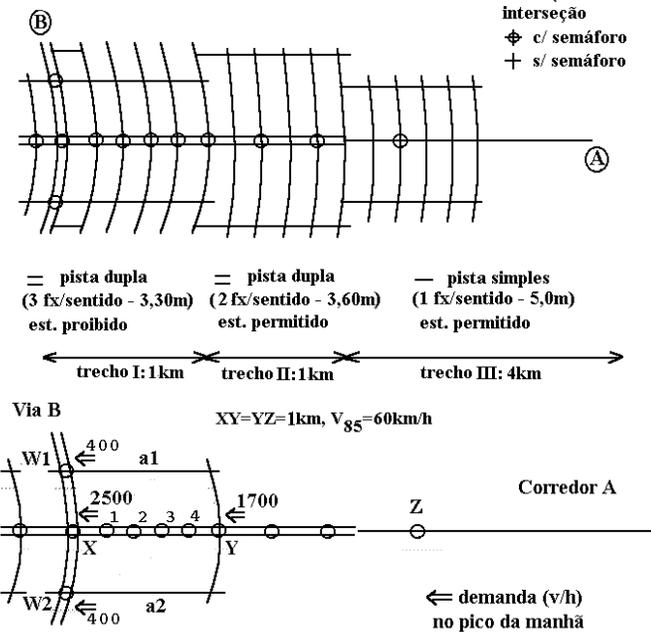


BALANCEAMENTO III

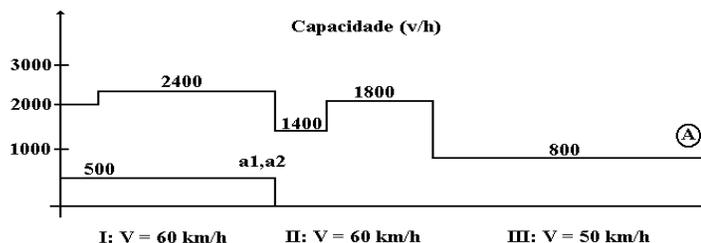
- corredor A: ligação Leste/Centro São Poli - 6 km até o Anel B (Centro)



- demanda: na via B, no sentido dominante (interno) é 900 v/h direto e 200 v/h à esquerda; no sentido não dominante é 750 v/h direto e 350 v/h à esquerda; nas vias transversais é cerca de 450 v/h, sendo 100 v/h direto, 300 v/h para o centro e 50 v/h para o bairro; na via A, no sentido dominante, há dois gargalos: gargalo em Y: fluxo na linha de retenção 1400 v/h, sobre-demanda de 300 v/h; gargalo em X: fluxo na linha de retenção 2000 v/h, sobre-demanda de 200 v/h, sem receber em X a sobre-demanda retida em Y, ou 500 v/h com ambas. demanda no sentido não dominante é de 600 v/h em Y e 800 v/h em X; (admitir 10% de conversões à direita e 20% de veículos pesados em todos os fluxos).

- problemas: . operação dominada pelas interseções críticas (gargalos em X e Y, em que há sobre-demanda no pico da manhã); . número excessivo de interseções intermediárias no trecho XY (corresponde à falta de hierarquização adequada na área lindeira).

- perfil de capacidade (medido para pico da manhã, válido para ambos os sentidos):

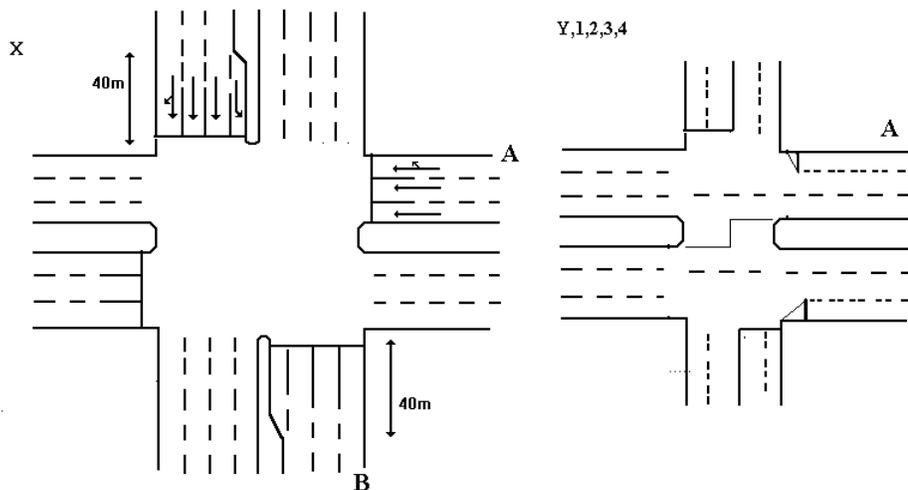


características atuais do corredor A (geometria e controle de tráfego):

- trecho com pista dupla: com 9,90 metros por sentido;
3 faixas por sentido no trecho XY
(3 faixas de 3,30 metros e estacionamento proibido);
no trecho anterior, 2 faixas de tráfego de 3,60 metros
e estacionamento permitido (2,70 m);
- conversões à esquerda: proibidas em A após Z;
nas interceptantes, as conversões à esquerda permitidas
(não protegidas); todos os semáforos com 2 estágios,
exceto X, onde há 3 estágios
(um para ambas as conversões à esquerda de B);
- tempos de semáforo: ciclo de 120 segundos em todos os semáforos;
taxa de verde de A: 50% em X e Y; 60% nas demais;
taxa de verde de B: 25% direto e 15% esquerda;
(tempo perdido: 4 seg. por mudança de estágio)

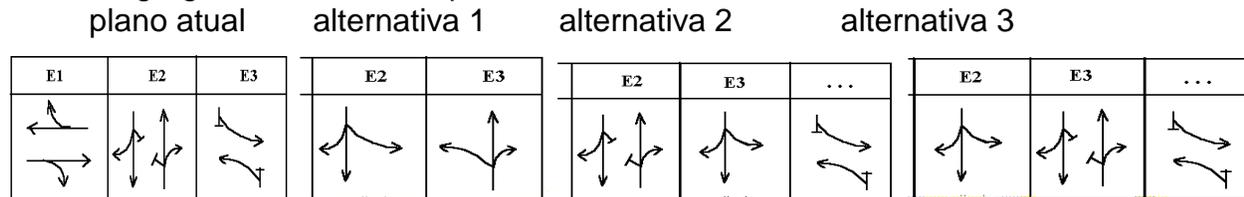
características das vias interceptantes (exceto B): pista simples com 1 faixa de tráfego e
1 faixa de estacionamento (3,30+2,20 metros por sentido);

características da via B: 3 faixas por sentido (3,30 metros),
estacionamento proibido e 1 faixa utilizada como baia de conversão.

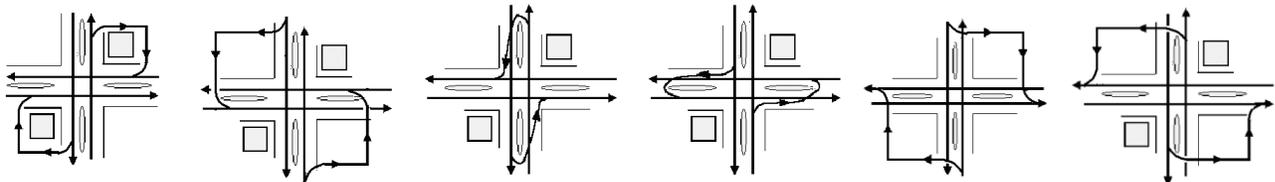


estratégias alternativas de ação:

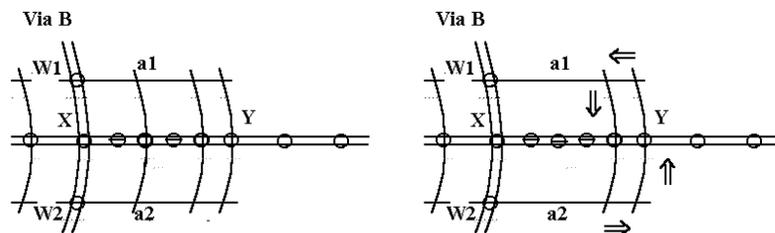
- eliminar gargalo Y proibindo estacionamento (40 m);
- eliminar gargalo X com aumento de faixas (4 x 3,0 m);
- eliminar gargalo X alterando o plano semafórico;



- eliminar gargalo X proibindo conversão à esquerda de B;
loop de quadra: depois ou antes retornos: depois ou antes saída antecipada loop paralelo

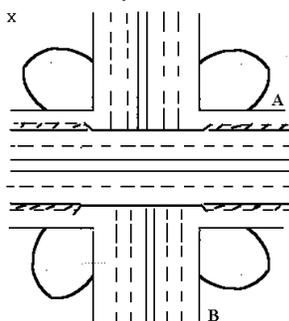


- eliminar interseções em 1 e 3 (fechamento canteiro);
- eliminar interseções 1, 2 e 3 e criar binário em 4 e 5;

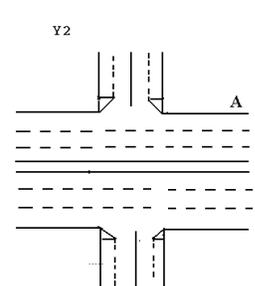
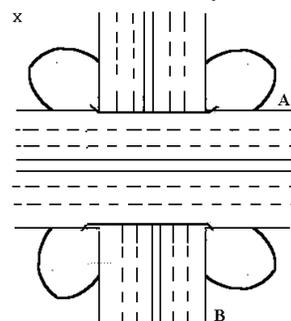
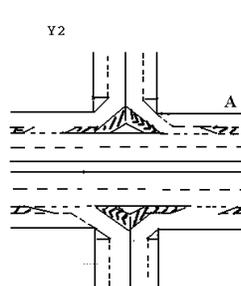


- trecho expresso: interconexão em X e acesso em Y.

alternativa expressa



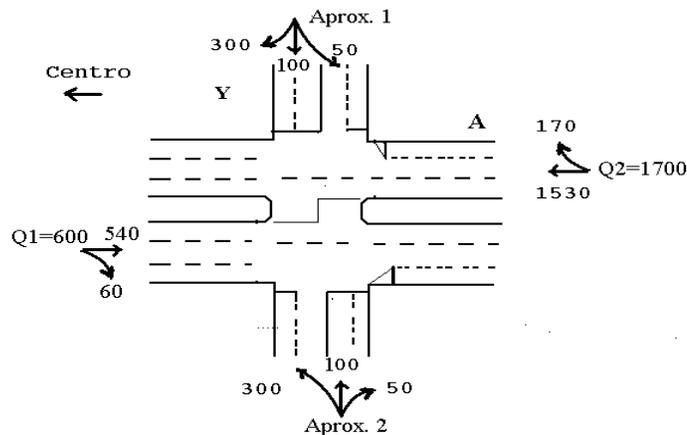
alternativa semi-expressa



- 1) Verifique se os acessos ao corredor em Y permitem acomodar os volumes atuais sem semáforo, analisando a situação atual mais crítica (as dimensões no canteiro central acomodam um veículo por sentido). Estime o tempo de espera no acesso ao corredor e a fila média correspondente, inclusive no canteiro central, para estas manobras. Para que níveis de demanda, seria possível manter a operação da interseção sem semáforo se houvesse o fechamento do canteiro central (atendendo apenas as conversões à direita)?
- 2) Mantendo o dimensionamento atual, avalie o novo fluxo de saturação para o corredor A em Y na opção de proibir o estacionamento na faixa direita (hoje permitido). Qual seria a extensão necessária de proibição para obter eficiência total na aproximação e qual o valor da capacidade para o corredor em Y, ainda mantendo o dimensionamento atual? Qual seria o efeito de proibir o estacionamento também nas vias transversais ao corredor?
- 3) Qual seria a alocação de tempo de verde em X, com fluxo de saturação e o tempo de ciclo atual, na opção de dar capacidade de 2500 v/h para o corredor A? Qual seria a situação resultante em B, considerando que a observação da operação indicou que as aproximações de B não estão saturadas como A, com filas estacionárias para o sentido dominante direto e dissipação das filas em 90% do verde para o sentido dominante à esquerda (para os sentidos não dominantes direto e à esquerda, as filas dissipam a fila em 75% e 50% do verde). Por fim, revise o dimensionamento atual em X, com os dados obtidos, e discuta o impacto da operação com os planos semaforicos alternativos.
- 4) Avalie o fluxo de saturação para o corredor A em X na opção de implantar 4 faixas (reduzindo o canteiro central por 40 metros). Verifique a capacidade para o corredor sem a alteração dos tempos semaforicos ou com o tempo de ciclo ótimo, mantendo o plano semaforico. Estime o tempo de espera para o corredor A, com os tempos atuais. Discuta os problemas para a eficiência deste esquema de operação, neste caso específico, decorrentes da extensão limitada da faixa adicional e da existência de apenas 3 faixas em A adiante.
- 5) Analise o impacto da proibição local das conversões à esquerda em B na operação semaforica e nos tempos de percurso dos principais deslocamentos, utilizando um esquema de *loop* de quadra depois (admitindo quadras 100 metros de lado). Como sua avaliação seria alterada se as mesmas vias passassem a ser usadas pelas conversões à esquerda da via A (que hoje usam um *loop* paralelo no sentido dominante e um *loop* antes no sentido não dominante). Com base nesta análise, discuta também os ganhos que seriam obtidos com as demais opções de circulação utilizáveis para proibir a conversão à esquerda de B no semáforo de X, em relação à situação atual e à utilização do *loop* de quadra depois.
- 6) Adotando uma perspectiva de mais longo prazo, analise qualitativamente os impactos relacionados com as intervenções mais radicais: a incorporação de a1 e a2 ao corredor estrutural (com fechamento dos canteiros em 1,2,3 e criação do binário usando 4 e Y) e a implantação de um corredor semi-expresso ou expresso a partir de Y em direção ao centro (além de X). Discuta a capacidade de suporte ao adensamento urbano decorrente da capacidade de tráfego de cada intervenção.

SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

(1) Para a análise da interseção Y com operação sem semáforos, o esquema dos fluxos é o seguinte:



Note que os movimentos já podem ser feitos em etapas (até o canteiro central e a partir do canteiro central). Como não são permitidas conversões à esquerda na via principal (e não há informação sobre manobras irregulares), na primeira etapa existem a manobra de conversão à direita e de cruzamento até o canteiro central e na segunda etapa existe a manobra de cruzamento e de convergência à esquerda do canteiro central, em cada sentido, que seriam as situações a serem analisadas (todas na via transversal em Y).

Sabemos que situações críticas são as que apresentam maior demanda e/ou menor capacidade. A capacidade é menor para aproximações com movimentos que necessitam de uma brecha maior para a manobra ser efetivada e contam com um fluxo oposto muito alto (neste caso, um manobra difícil normalmente domina a operação).

Portanto, podemos deduzir que a conversão à esquerda de 300 v/h da aproximação Y2 e especialmente no canteiro central C2 seria o caso mais crítico, já que temos uma demanda alta cruzando ou convergindo com um fluxo oposto bastante alto e necessitando de brechas grandes (especialmente na segunda etapa). Consequentemente, esta manobra irá gerar maior atraso na operação da aproximação Y2 e no canteiro em C2.

Note que na etapa 1 da aproximação Y1 a situação também tem um fluxo oposto bastante alto (maior que na etapa 1 da aproximação Y2) mas semelhante ao da segunda etapa em C2. Esta situação é menos crítica porque o fluxo principal da aproximação Y2 é de conversão à direita (que, além de ser uma manobra mais simples, conta hoje com uma faixa livre de entrada devido ao efeito do estacionamento permitido no trecho anterior).

Na aproximação 2, temos 3 movimentos: convergência à direita de 50 v/h (na etapa 1 apenas); cruzamento de 100 v/h (em ambas as etapas); conversão à esquerda de 300 v/h (em ambas as etapas). Os movimentos de cruzamento e de conversão à esquerda (400 v/h) são semelhantes na etapa 1 e distinguem-se apenas na etapa 2. Estas etapas tem interações

importantes: por outro lado, qualquer veículo no canteiro central esperando brechas para a etapa 2 pode bloquear movimentos vindos da etapa 1 nas aproximações das vias secundárias (dado que há somente vaga para 1 veículo no canteiro central); por outro lado, uma eventual insuficiência de capacidade na etapa 1 faria com que parte da demanda vinda da via principal ficasse retida na aproximação e reduziria, portanto, a demanda que efetivamente chega ao canteiro central da via.

Como o primeiro efeito de interação é sempre presente (em algum grau) e o segundo efeito de interação é eventual (ocorre com capacidade insuficiente) convém analisar antes a etapa 2. Utilizando o procedimento do DENATRAN/87, tem-se os seguintes resultados.

Etapa 2: as manobras existentes são a convergência de 300 v/h à esquerda e o cruzamento de 2 faixas de 100 v/h a partir do canteiro central.

Para o cruzamento em C2 tem-se a seguinte situação:

$$\alpha = 6 \text{ s (curva B) e } q_0 = Q_B = 1700 \text{ v/h} \therefore C_T = 70 \text{ v/h} \therefore X_T = \frac{100}{70} = 1,43.$$

Para a convergência à esquerda em C2 pode-se ter 2 situações: os veículos podem fazer a manobra regular para a segunda faixa (de menor velocidade) ou a manobra forçada para a primeira faixa (no caso em que a manobra regular é difícil). As características das manobras para cada caso seriam as seguintes:

para a segunda faixa: $\alpha = 8 \text{ s (curva D), } q_0 = Q_B = 1700 \text{ v/h} \therefore C_E \cong 2 \text{ v/h; e}$

para a primeira faixa: $\alpha = 6 \text{ s (curva C), } q_0 = 0,6 \cdot Q_B = 1020 \text{ v/h} \therefore C_E = 220 \text{ v/h}$

Portanto, nesta situação, conclui-se que a manobra regular é inviável (levaria a atrasos bastante grandes) e provavelmente a manobra forçada irá ocorrer. Na hipótese de 100% dos veículos optarem pela manobra forçada, razoável neste caso, ter-se-ia:

$$C_E = 220 \text{ v/h} \therefore X_E = \frac{300}{220} = 1,36$$

(qualquer outra hipótese de repartição poderia ser adotada e a capacidade média resultante poderia ser calculada com a fórmula usual de capacidade em faixas com uso compartilhado).

Naturalmente a conclusão realista de que seria realizada a manobra para a primeira faixa já um indicador de deficiência de capacidade (poderia trazer problemas de segurança significativos, seja colisões transversais com o fluxo principal como colisões traseiras no fluxo da via secundária).

Para esta posição, na hipótese admitida, tem-se então $X_2 = X_T + X_E = 1,43 + 1,36 = 2,79 = 279\%$. Neste caso, a capacidade do canteiro é $C = \frac{400}{2,79} = 143 \text{ v/h}$. Portanto, mesmo com manobras forçadas de conversão, a operação seria deficiente no canteiro central. Note que mesmo utilizando duas posições por sentido no canteiro central, a operação seria algo deficiente (no caso ideal de dobrar a capacidade).

Este é uma situação que dificultaria a operação também na etapa 1, já que o canteiro central é capaz de acomodar apenas 1 veículo. Note também que, neste caso, a

recomendação usual de reduzir a capacidade da etapa 1 de $1 - \frac{X}{2}$ (com base na avaliação estacionária de que a probabilidade de ter a posição adiante bloqueada é igual a X), não pode ser usada. Uma recomendação prática seria reduzi-la de $1 - \frac{X_q}{(m+1)}$ em função do número de vagas m para acomodação de veículos na espera junto ao canteiro central (isto é, em 50% no caso de saturação). Em qualquer caso, deve-se tomar a capacidade na etapa 2 (143 v/h) como um limite superior para a capacidade na manobra de cruzamento na etapa 1 (cuja demanda é 400 v/h). Pela falta de capacidade de tráfego e de espaço para acomodar fila no canteiro central, esta situação seria inadequada e.

Uma alternativa para acomodar esta situação seria necessário ter uma faixa de entrada livre para a conversão à esquerda e 1 ou 2 posições para os veículos que buscam cruzamento e/ou algum espaço para acomodar fila (dado que é desaconselhável ter mais de 2 posições na linha de retenção junto ao canteiro central). A utilização de uma faixa de entrada livre à esquerda seria dificultada pela existência do fluxo no sentido oposto da via transversal (o que exigiria uma ilha com largura para acomodar a linha de retenção da conversão à esquerda ou o deslocamento do fluxo no sentido oposto para alguma via paralela adjacente). Entretanto, uma configuração com faixa de entrada livre à esquerda eventualmente permitisse acomodar também conversões à esquerda e/ou retornos da via principal (eventualmente com baia na via principal para acomodação da fila acumulada).

Note que estamos admitindo que a primeira etapa não é crítica e que sua demanda (os 400 v/h) não teria problema para chegar ao canteiro central. Neste ponto da análise tem de ser admitido que a capacidade da etapa 1 é maior que a da etapa 2, o que é depois verificado.

Etapa 1: as manobras existentes são o cruzamento de 2 faixas de 400 v/h até o canteiro central e convergência de 50 v/h à direita, ambos vindos da via secundária.

Para o cruzamento em Y2, tem-se a seguinte situação:

$$\alpha = 6 \text{ s (curva B) e } q_0 = Q_B = 600 \text{ v/h} \therefore C_T = 530 \text{ v/h} \therefore X_T = \frac{400}{530} = 0,75.$$

Para a convergência em Y2, o fluxo na via principal utiliza duas faixas (dado que a faixa lindeira é utilizada pelo estacionamento permitido no trecho posterior) e tem-se:

$$\alpha = 4 \text{ s (curva A) e } q_0 = 0,4 \cdot Q_B = 240 \text{ v/h} \therefore C_D = 1200 \text{ v/h} \therefore X_D = \frac{50}{1200} = 0,04.$$

Portanto, nesta situação, ter-se-ia $X_1 = X_T + X_D = 0,79$ e a capacidade na aproximação da via secundária seria $C = \frac{450}{0,79} = 570 \text{ v/h}$. Desse modo, a etapa 1 realmente não é problema para atingir-se o canteiro central.

Entretanto, se na etapa 2 tivermos sobre-demanda, o fluxo que sai da etapa 1 depende da capacidade do canteiro. Se a capacidade no canteiro central fosse de 143 v/h, este seria o limite superior para a capacidade da manobra de cruzamento da etapa 1 (toda a avaliação teria de ser refeita com $C_T = 143 \text{ v/h}$, ao invés de 530 v/h). Neste caso, mesmo havendo brecha para

a realização da primeira etapa esta não ocorre, já que não há espaço no canteiro central para seguir adiante (a saturação decorre da etapa 2, no canteiro central).

Admitindo a capacidade de 143 v/h para o cruzamento a partir da via secundária (que é o seu limite superior e dificilmente poderia ser atingida na prática), até o canteiro central, a situação na via secundária corresponderia a $X_T = \frac{400}{143} = 2,80$, $X_2 = X_T + X_E = 2,80 + 0,04 = 2,84 = 284\%$. Neste caso, a capacidade da via secundária é $C = \frac{450}{2,84} = 158 \text{ v/h}$ (140 v/h cruzando e 18 v/h à direita, com a composição existente) e a sobre-demanda seria contida na sua aproximação. Um valor menor para a capacidade para cruzamento seria mais realista mas não há uma recomendação geral aplicável.

Com as demandas bem definidas, podemos agora calcular os atrasos e as filas médias correspondentes, sendo $T_p = \frac{1}{2}h = 1800 \text{ seg.}$

Para a etapa 2, utilizando $X = 1$, temos:

$$d_r = \frac{3600}{C} = \frac{3600}{143} = 23 \text{ s (este atraso corresponde à média ponderada dos atrasos$$

específicos das duas manobras possíveis, sendo $d_{rT} = \frac{3600}{70} = 51 \text{ s}$ e $d_{rE} = \frac{3600}{220} = 16 \text{ s}$).

$$d_s = \frac{T_p}{4} \cdot \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot X}{C \cdot T_p}} \right] = \frac{1800}{4} \cdot \left[(1-1) + \sqrt{(1-1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1}{143 \cdot 0,5}} \right] = 150 \text{ s}$$

e $d = d_r + d_s = 175 \text{ s}$, que corresponde a uma fila média de $n = \frac{400}{3600} \cdot 175 = 19,4$ veículos.

Note que este valor indica a impossibilidade dessa operação na situação atual (dado que o espaço de armazenamento existente é de apenas 1 veículo) e a impossibilidade de atingir um aproveitamento de capacidade de 143 v/h (que, além de ser impossível devido à própria aleatoriedade, exigiria uma fila de reserva impossível de acomodar).

Para a etapa 1, admitindo o valor calculado de X igual a $\frac{450}{158} = 2,85$, temos:

$$d_r = \frac{3600}{C} = \frac{3600}{158} = 23 \text{ s (sendo } d_{rT} = \frac{3600}{143} = 25 \text{ s e } d_{rE} = \frac{3600}{1200} = 3 \text{ s)},$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \cdot \left[(2,85-1) + \sqrt{(2,85-1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 2,85}{158 \cdot 0,5}} \right] = 1699 \text{ s}$$

e $d = d_r + d_s = 1722 \text{ s} = 28,7$ minutos (que corresponde a uma fila média de $n = \frac{450}{3600} \cdot 1722 = 215$ veículos acumulados no pico, para aproximação Y2).

Na aproximação 1, temos 3 movimentos: convergência à direita de 300 v/h, cruzamento de 100 v/h e conversão à esquerda de 50 v/h.

Para a Etapa 2 tem-se o cruzamento de 2 faixas de 100 v/h a partir do canteiro central com $\alpha = 6$ s (curva B) e $q_0 = Q_A = 600$ v/h $\therefore C_T = 530$ v/h ou $X_T = \frac{100}{530} = 0,19$, e a convergência dos outros 50 v/h à esquerda, com $\alpha = 6$ s (curva C) e $q_0 = 0,6 \cdot Q_A = 408$ v/h $\therefore C_E = 750$ v/h ou $X_E = \frac{50}{750} = 0,07$. Portanto, $X_2 = 0,19 + 0,07 = 0,26 = 26\% \Rightarrow C = \frac{150}{0,26} = 577$ v/h.

Para a Etapa 1, tem-se o cruzamento de 2 faixas de 150 v/h até o canteiro central e convergência de 300 v/h à direita. Como há hoje uma pista exclusiva para a manobra à direita, devido ao estacionamento permitido no trecho anterior, tem-se: $C_D = S_D = \frac{1}{\beta_2}$, sendo $\beta_2 = \frac{\alpha}{4} + 1,5 = 1 + 1,5 = 2,5$ seg (dado que $\alpha = 4$ s) $\therefore C_D = \frac{3600}{2,5} = 1440$ v/h ou $X_D = \frac{300}{1440} = 0,21$. Para o cruzamento, temos $\alpha = 6$ s (curva B) e $q_0 = Q_B = 1700$ v/h $\therefore C_T = 70$ v/h, que seria reduzido pelo efeito de bloqueio no canteiro central. Como $X_2 = 0,26$, a estimativa de perda de capacidade igual a X_2 leva a $C_T = (1 - 0,26) \cdot 70 = 51,8$ v/h ou $X_T = \frac{150}{51,8} = 2,90 = 290\%$. Portanto, tem-se $X = 0,18 + 2,90 = 3,18$ e a capacidade no cruzamento seria $C = \frac{450}{3,18} = 141$ v/h (47 v/h cruzando e 94 v/h à direita). Portanto, com a configuração atual haveria sobre-demanda na aproximação de Y1 devido à 1ª etapa (que reduzia a demanda na 2ª etapa). No entanto, neste caso, a utilização de duas vagas na aproximação de Y1 (por exemplo, proibindo o estacionamento em uma pequena extensão a partir da linha de retenção) permitiria acomodar a demanda (com algum atraso).

Portanto, confirma-se que Y2 (particularmente em C2, no canteiro central) é mais crítico que Y1 (como conjeturado na análise qualitativa).

Dadas as condições acima, não seria possível retirar o semáforo em Y (e nas interseções posteriores) sem realizar outras alterações. Note que o procedimento do DENATRAN não considera os fluxos no sentido oposto da via secundária como fluxos conflitantes (o que não é razoável) e não considera a composição de tráfego no fluxo secundário (que, com 20% de veículos pesados, corresponderia a um equivalente médio global de 1,10 e majoraria os valores de demanda em 10% para veq/h).

Portanto, a operação poderia ser ainda pior que a considerada (entretanto, os valores de brecha adotados pelo DENATRAN são usualmente maiores que os reais).

Naturalmente, com o fechamento do canteiro central, a operação sem semáforos seria possível para os níveis de fluxo correspondentes às capacidades avaliadas para as conversões à direita em Y1 e Y2 (respectivamente 1440 v/h e 1200 v/h), mantidos os fluxos atuais no corredor A. Entretanto, esta é uma medida de alteração de circulação que faria com que a demanda de cruzamento e conversão à esquerda hoje em Y passasse a utilizar outras vias

interceptantes e geraria atrasos de circulação (neste caso, não pode ser feita uma análise localizada e é preciso considerar o impacto desta alteração em outras interseções).

(2) Para a análise do impacto no corredor A, em Y, decorrente da proibição do estacionamento em uma extensão suficiente da aproximação no sentido bairro-centro, mantendo-se o dimensionamento atual (e, portanto, a taxa de verde efetivo), basta avaliar o impacto desta medida em seu fluxo de saturação.

De acordo com o método de Webster/Cobbe/66, tem-se $S = S_b \cdot f_i \cdot f_{loc} \cdot f_{est} \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{vp}$ e o fato de termos estacionamento permitido até a linha de retenção acarreta uma perda de pista efetiva para escoamento de tráfego igual a $p = 1,68 \cdot f$ em metros, sendo que $f=1$ no caso de adotarmos estacionamento para veículos leves. Sendo assim, na situação atual, o fluxo de saturação corresponde a $f_{est} = \frac{9,90 - 1,68}{9,90} = \frac{8,22}{9,90} = 0,83$. A nova situação, admitindo eficiência total da faixa com estacionamento proibido, corresponde a $p=0$ e $f_{est} = 1,0$, naturalmente.

Dado que a observação feita em campo nos indicou que temos uma capacidade $C = 1400v/h$ para o corredor nesta interseção, o que corresponde a fluxo de saturação $S = \frac{C}{u} = 2800v/h$, pois $u = 50\% = 0,5$ é a taxa de verde efetivo atual, o novo valor do fluxo de saturação pode ser estimado com facilidade.

A forma mais trabalhosa de estimativa seria usar sempre o método analítico usual com $S = S_b \cdot f_i \cdot f_{loc} \cdot f_{est} \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{vp}$, onde o fator de localização específico f_{loc} poderia ser estimado a partir da observação de campo, tendo-se:

$$S_b = \text{fluxo de saturação básico: } L = 9,90\text{m} \therefore S_b = 9,9 \cdot 525 = 5197,5 \text{veq/hv};$$

$$f_i = \text{declividade } f_i = \frac{100 - 3 \cdot i}{100} : i = 0 \therefore f_i = 1;$$

$$f_{est} = \text{estacionamento } f_{est} = \frac{L - p}{L} = 0,83;$$

$$f_{cd} = \text{à direita } f_{cd} = \frac{100}{100 + (p_{cd} - 10)(e_{cd} - 1)}$$

$$p_{cd} = \frac{170}{1700} = 0,10 = 10\%, \therefore f_{cd} = 1$$

$$f_{ce} = \text{à esquerda } f_{ce} = \frac{100}{100 + p_{ce} \cdot (e_{ce} - 1)}, p_{ce} = 0\% (\text{proibido}) \therefore f_{ce} = 1$$

$$f_{vp} = \text{composição de tráfego } f_{vp} = \frac{100}{100 + p_i \cdot (e_i - 1)}, 20\% \text{ de veículos pesados,}$$

$$\text{com } e_i = 1,75 \therefore f_{vp} = 0,87$$

Portanto, podemos encontrar o fator de localização como sendo $f_{loc} = \frac{S_{campo}}{S_b \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{vp}} = \frac{2800}{5197,5 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87} = 0,75$ (de acordo com Webster/Cobbe/66, este valor corresponde a um local ruim, dadas as interferências existentes). Este método

com o fator de localização calibrado e o novo fator de estacionamento, poderia ser utilizado para estimar o fluxo de saturação resultante.

No entanto, uma estimativa mais direta pode ser obtida incorporando ao valor medido o efeito da alteração devida à proibição de estacionamento por $S' = S \cdot \frac{f'_{est}}{f_{est}} = 2800 \cdot \frac{1}{0,83} = 3374v/h$ (e seria o mesmo obtido com o procedimento anterior).

Portanto, o novo valor da capacidade, mantendo o dimensionamento atual (e a taxa de verde efetivo de 50%, corresponderia a $C = 0,5 \cdot 3374 = 1687v/h$ (um aumento de 20% decorrente do efeito direto do novo fluxo de saturação).

Note que este valor é muito próximo da demanda no corredor no sentido bairro- centro. Sendo assim, a via estaria operando no limite de sua capacidade.

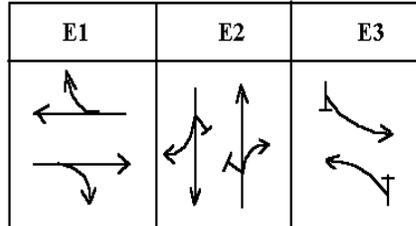
Para termos eficiência total da faixa com estacionamento proibido na aproximação não é necessário proibirmos o estacionamento em toda extensão da via. Basta termos $f_{est} = 1$ e, portanto $p_{\ell} = 0$. Sendo $p_{\ell} = 1,68 - 0,9 \cdot \frac{(z - 7,60)}{g} = 0$ a perda de pista efetiva e $g = 60\text{seg}$ a taxa de verde, ou seja $z = 120\text{metros}$ é a distância necessária até a linha de retenção para termos eficiência total no escoamento da demanda.

A proibição do estacionamento nas vias transversais, mantendo o dimensionamento atual, não traria nenhum efeito sobre a operação no corredor.

Este não é o caso, entretanto, na situação mais usual em que o semáforo fosse redimensionado após as modificações físicas realizadas. Neste caso, a melhoria do fluxo de saturação da via transversal reduziria sua necessidade de verde efetivo e permitiria aumentar a taxa de verde efetiva alocada ao corredor (e, portanto, a capacidade para o corredor). Um critério de alocação proporcional dividiria o ganho entre os estágios.

De forma análoga, no caso da melhoria do fluxo de saturação no corredor, o redimensionamento produziria uma melhora menor que a manutenção do dimensionamento, isto para o critério de alocação proporcional. Se este efeito é indesejável, isto significa que o critério de alocação proporcional é inadequado e outro critério pode ser preferido. Por exemplo, pode-se impor o atendimento à necessidade do corredor (dando uma taxa de verde efetivo igual à sua taxa de solicitação de verde) e alocar à via transversal a taxa de verde residual no semáforo (descontados os tempos perdidos). Particularmente em situações em que as interseções semaforizadas operam saturadas, a adoção de critérios de alocação de verde alternativos que protejam as vias principais é normalmente inevitável.

(3) Com o plano semaforico atual do cruzamento em X, tem-se três estágios com taxa de verde efetivo de 50% para o corredor A (em E1), taxa de verde efetivo de 25% para os fluxos diretos da via B(em E2) e de 15% para os fluxos de conversão (em E3) de B, dado que o tempo perdido total (de 12 seg.) corresponde a 10% do tempo de ciclo (120 seg.).



Na opção de dar capacidade $C = 2500v/h$, mantendo o fluxo de saturação $S = 4000v/h$ e o tempo de ciclo $t_c = 120\text{seg}$, podemos calcular o tempo de verde necessário para o estágio E1 sabendo que $C = u.S \Rightarrow u = \frac{C}{S} = \frac{2500}{4000} = 62,5\%$. Portanto, dado que $u = \frac{g_{ef}}{t_c}$, tem-se $g_{ef} = 0,625.120 = 75\text{seg}$ para o corredor (admitindo que o tempo morto é um segundo menor que o amarelo, ter-se-ia $g = g_{eg} - 1 = 74\text{seg}$ como tempo de foco em E1).

Deste modo, sobram apenas $120 - 75 - 12 = 33$ seg. de tempo de verde efetivo para os estágios E2 e E3 (o que pode acarretar sobre-demanda no corredor B). Mantendo a repartição relativa atual, seriam 20 seg. para E2 e 12 seg. para E3 (se tivermos as taxas de solicitação crítica em E2 e E3, outro critério seria adotar a alocação proporcional usual).

Para avaliar melhor a situação, seria necessário encontrar as taxas de solicitação de verde para os grupos de tráfego críticos de E2 e E3 a partir dos dados observados em campo (o tempo de dissipação da filas) e compará-las com as taxas de verde efetivo fornecidas no dimensionamento que protege o corredor em X.

A taxa de solicitação de verde dos grupos de tráfego pode ser calculada a partir da observação do tempo de dissipação da fila (para grupos de tráfego não saturados) ou do crescimento da fila em um dado período (para grupos de tráfego saturados) por

$$y = \frac{g_s}{r + g_s} \text{ ou } y = u \cdot \left(1 + \frac{\Delta n_c}{N_c} \right) \text{ respectivamente (desprezando o efeito da aleatoriedade)}$$

onde g_s é o tempo de dissipação da fila (sem saturação) e Δn_c e N_c são o crescimento e o escoamento da fila em um ciclo (ou número compatível de ciclos). Estas fórmulas são aproximações que contém erros razoáveis para graus de saturação menores que 80% a 90% se há dissipação de fila ou maiores que 90% a 100% se não há dissipação de fila mas podem fornecer valores menos precisos em casos intermediários (isto decorre do fato de haver uma fila aleatória estacionária significativa no início do verde ou uma baixa probabilidade de observar um ciclo com dissipação de fila).

Na situação da via B, observou-se que há filas estacionárias no sentido dominante para o grupo de tráfego crítico de E2 (cujo verde efetivo é 25% do ciclo ou $0,25 \cdot 120 = 30$ seg.) e que as filas dissipam em 80% do verde para o grupo de tráfego crítico de E3 (cujo verde efetivo é 15% do ciclo ou $0,15 \cdot 120 = 18$ seg.), tendo-se:

- no fluxo dominante direto, que ocorre no sentido dominante da via B (interno em relação ao centro), há filas estacionárias, sem dissipação, o que pode ocorrer para níveis de utilização da capacidade entre 90% e 100%, podendo-se supor um valor intermediário de 95% (utilizar a fórmula com saturação com $\Delta n = 0$ corresponde a supor 100%) e, conhecendo a taxa de verde efetivo atual, a taxa de solicitação seria:

$$\therefore y = 0,95 \cdot u = 0,95 \cdot 0,25 = 0,24 \text{ (a fórmula com saturação daria } y = u = 0,25)$$

que corresponde à taxa de solicitação crítica do estágio E2

(o fluxo direto não-dominante dissipa a fila em 75% do tempo de verde, tendo-se

$$\therefore g_s = 0,75 \cdot g = 0,75 \cdot 30 = 23,5 \text{ seg} \Rightarrow y_{\bar{n}\text{-dom}} = \frac{g_s}{r + g_s} = \frac{23,5}{90 + 23,5} = \frac{23,5}{113,5} = 0,21 \text{ e, portanto,}$$

$$y_{E2} = \max\{y_{\text{dom}}; y_{\bar{n}\text{-dom}}\} = \max\{0,24; 0,21\} = 0,24);$$

- dissipação da fila no fluxo dominante de conversão, que ocorre no sentido não dominante da via B (externo em relação ao centro), utiliza 90% do tempo de verde:

$$\therefore g_s = 0,9 \cdot g = 0,9 \cdot 18 = 16,2 \text{ seg} \Rightarrow y_{\text{dom}} = \frac{g_s}{r + g_s} = \frac{16,2}{102 + 16,2} = \frac{16,2}{118,2} = 0,14$$

que corresponde à taxa de solicitação crítica do estágio E3

(o fluxo não-dominante de conversão dissipa a fila em 50% do tempo de verde, tendo-se

$$\therefore g_s = 0,5 \cdot g = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ seg} \Rightarrow y_{\bar{n}\text{-dom}} = \frac{g_s}{r + g_s} = \frac{9}{102 + 9} = \frac{9}{111} = 0,08) \text{ e, portanto,}$$

$$y_{E3} = \max\{y_{\text{dom}}; y_{\bar{n}\text{-dom}}\} = \max\{0,14; 0,08\} = 0,14)$$

Assim, conhecendo as taxas de solicitação dos estágios E2 e E3, podemos distribuir o tempo de verde efetivo restante para atender proporcionalmente a demanda:

$$g_{\text{efE2}} = \frac{0,24}{0,38} \cdot 33 = 21 \text{ seg} \Rightarrow g_{E2} = g_{\text{efE2}} - 1 = 20 \text{ seg}, \text{ com } u_2 = \frac{21}{120} = 0,175 < 0,24$$

$$g_{\text{efE3}} = \frac{0,14}{0,38} \cdot 33 = 12 \text{ seg} \Rightarrow g_{E3} = g_{\text{efE3}} - 1 = 11 \text{ seg}, \text{ com } u_2 = \frac{12}{120} = 0,10 < 0,14$$

(indicando que todos os movimentos críticos de B operarão saturados).

Estas taxas de solicitação de verde em B e os dados do corredor em X, permitem também examinar diversas alternativas de redimensionamento e/ou alterações físicas ou de circulação, como as estratégias previamente enunciadas.

Na situação atual, os dados obtidos em campo permitem obter, para o fluxo dominante do corredor em X, $S = \frac{C}{u} = \frac{2000}{0,5} = 4000 \text{v/h}$ e, portanto, tem-se que $y_{E1} = \frac{Q}{S} = \frac{2200}{4000} = 0,55$.

Como $y_{E2} = 0,24$ e $y_{E3} = 0,14$, tem-se $Y_T = 0,93 \Rightarrow t_{co} = \frac{1,5 \cdot t_p + 5}{1 - Y_T} = \frac{1,5 \cdot 12 + 5}{1 - 0,93} = \frac{23}{0,07} = 328,5 \text{seg}$ e o

semáforo deveria estar operando com o tempo de ciclo máximo (120 seg. no caso). Como o tempo de ciclo mínimo requerido $t_c^{\min} = \frac{t_p}{1 - Y_T} = \frac{12}{0,07} = 171,4 \text{seg}$ também é maior que o tempo de

ciclo adotado, isto indica que a interseção estaria saturada e os grupos críticos teriam problemas. Com a eliminação do gargalo em Y, a demanda passaria a 2500v/h, tendo-se $y_{E1} = \frac{2500}{4000} = 0,625$ e, então, $Y_T = 0,24 + 0,14 + 0,625 = 1,005 \Rightarrow t_c = t_c^{\max}$ da mesma forma. Neste caso, é impossível evitar algum grau de sobre-demanda (para pelo menos alguns grupos críticos).

Mesmo sem alterar o tempo de ciclo, a repartição de verde seria, entretanto, alterada. Na situação atual, o estágio E1 teria $g_{ef1} = \frac{0,55}{0,93} \cdot (120 - 12) = 64 \text{seg}$ com $u_1 = \frac{64}{120} = 0,53 < 0,55$ (o que indica ainda saturação mas em grau menor que o atual, em que $u_1 = 0,50$). Com a demanda majorada, o estágio E1 teria $g_{ef1} = \frac{0,625}{1,005} \cdot (120 - 12) = 67 \text{seg}$ com $u_1 = \frac{67}{120} = 0,55 < 0,625$ (também saturado). Com tempo de ciclo igual, a melhora para A implica na piora de B.

Note que adotar $t_c = t_c^{\max} = 180 \text{seg}$ como tempo de ciclo o máximo admitido, na situação atual, levaria à alocação de verde (efetivo e de foco) seguinte:

$$g_{ef}^{E1} = \frac{0,55}{0,93} \cdot (180 - 12) = 99 \text{seg} \therefore g_{E1} = 98 \text{seg}, u_1 = \frac{99}{180} = 0,55 \cong y_{E1}$$

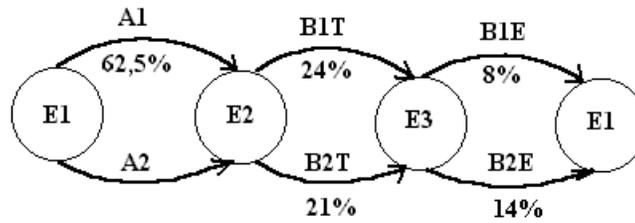
$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,24}{0,93} \cdot (180 - 12) = 43 \text{seg} \therefore g_{E2} = 42 \text{seg}, u_2 = \frac{43}{180} = 0,24 \cong y_{E2}$$

$$g_{ef}^{E3} = \frac{0,14}{0,93} \cdot (180 - 12) = 25 \text{seg} \therefore g_{E3} = 24 \text{seg}, u_3 = \frac{25}{180} = 0,14 \cong y_{E3}$$

(dado que $t_c \cong t_c^{\min}$). A taxa de verde efetivo do estágio E1 é apenas marginalmente maior que o valor anterior (e ainda com folga insuficiente). Isto ilustra que embora os tempos de ciclo maiores permitam aumentar a capacidade da interseção, potencialmente para todos os movimentos, os rendimentos marginais são decrescentes e tempos de ciclos longos apenas justificam-se para interseções com muitos estágios sem interferências.

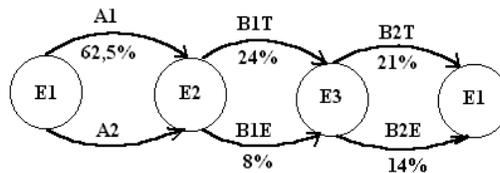
De forma geral, a regra básica para obter máximo rendimento dos semáforos é dar o maior tempo possível à operação dos movimentos críticos, com a menor ociosidade possível aos movimentos menos críticos (quando este tempo poderia ser alocado a outro movimento mais crítico), e evitar interferências entre movimentos. Este é um aspecto que pode ser claramente examinado analisando o diagrama de operação dos grupos por estágio.

Na situação atual, a representação da necessidade de verde ao longo dos estágios na operação do plano semafórico utilizado é a seguinte:

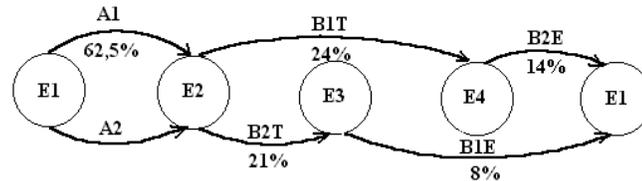


Os planos de operação semafórica alternativos podem ser representados, de forma similar, pelos diagramas de operação dos grupos por estágio seguintes:

Alternativa 1



Alternativa 2



Portanto, a situação obtida no plano semafórico atual, que faz o dimensionamento pela sequência crítica dada por A1-B1T-B2E com $Y_T = 100,5\%$ e $t_p = 12\text{seg}$, não pode ser melhorada em nenhuma das alternativas consideradas. A alternativa 3 somente altera a ordem dos estágios o que tem importância em termos de segurança e na determinação dos entreverdes mas, neste caso, é semelhante à alternativa 2 em termos de dimensionamento.

Naturalmente, é fácil ver que a única chance de reduzir a taxa de solicitação global em relação ao plano semafórico atual decorreria de superpor a operação de B1T e B2E, que determinam a sequência crítica atual. Entretanto, como estes movimentos são incompatíveis, sua operação simultânea não é possível. Superpondo outros movimentos, como na alternativa 2 acima, a situação não se altera em termos de dimensionamento e a alteração, do ponto de vista do corredor A, não seria relevante.

Quanto aos planos de três estágios, é também evidente que a combinação atual é a mais eficiente porque minimiza a solicitação de verde dos grupos de tráfego críticos. Na situação da alternativa 1, a taxa de solicitação global seria maior que a atual (dado que os grupos de tráfego críticos seriam B1T e B2T, que necessitam de $24\% + 21\% = 45\%$ de verde efetivo, mais que os grupos críticos atuais B1T e B2E, cuja necessidade é $24\% + 14\% = 38\%$).

...

Note que a diferença básica entre os planos de operação propostos é que o plano atual separa as correntes direta e à esquerda em cada aproximação e aloca verde simultaneamente aos movimentos diretos opostos e às conversões à esquerda opostas. A operação simultânea de conversões à esquerda opostas pode ser considerada não conflitiva, a menos que restrições geométrica causem interferência entre elas.

Portanto, o plano semafórico atual é interessante se os movimentos diretos e as conversões à esquerda tem taxas de solicitação próximas (visto que então há pouca ociosidade no sentido menos carregado). Caso contrário, a solicitação dos movimentos críticos em cada estágio provavelmente levariam a uma taxa de solicitação global maior. Haveria entretanto a desvantagem de uma eventual interferência entre movimento direto e conversão à esquerda (caso a baía de conversão não tenha extensão suficiente), podendo reduzir o fluxo de saturação efetivo para cada grupo (visto que, no caso, os movimentos direto e à esquerda estariam em grupos de tráfego distintos).

Porém, se a taxa de solicitação no sentido dominante é muito maior que do sentido dominado, o plano semafórico alternativo pode passar a ser mais interessante, pois então pode-se dar uma taxa de verde maior ao estágio com maior demanda e somente o mínimo de verde para o estágio com menor demanda. Entretanto, neste caso, especialmente quando o semáforo deve operar com um tempo de verde maior, a extensão da baía de conversão poderia representar uma restrição importante, que causaria uma queda do fluxo de saturação após o escoamento da fila nela acumulada (é o efeito de faixas de comprimento reduzido, avaliado pelo fator de estacionamento no procedimento de Webster&Cobbe/66). No caso, uma extensão de 40 m equivale a cerca de 8 veículos ou 20 segundos (isto é, um verde maior que este já teria o efeito de perda de eficiência no fluxo de saturação).

Como pode ser visto, a acomodação da conversão à esquerda no semáforos pode ser problemática. Considerando que as características da demanda variam ao longo do dia (o que é um problema mesmo quando é possível variar os planos de operação ao longo do dia, visto que a geometria da interseção é fixa), a alternativa usual seria recorrer a tratamentos de circulação (com proibição da conversão à esquerda nos semáforos críticos).

(4) Da discussão anterior, deduz-se que alterações físicas e/ou de circulação seriam necessárias para eliminar a saturação atual na interseção X. O efeito de alterações desta natureza pode ser feito seguindo o mesmo procedimento utilizado até aqui, levando-se a análise até o efeito final sobre o atraso nos semáforos e o atraso de circulação (eventualmente gerados por mudanças de rotas de alguns movimentos decorrentes de proibições de conversão ou criação de vias de mão única).

Das estratégias enunciadas para a interseção X, sem dúvida a introdução de uma quarta faixa, alterando o *lay-out* nas proximidades da sua linha de retenção, é a mais simples. Na situação atual, existem 3 faixas de 3,30 metros, isto é, há uma largura total disponível de 9,90 metros, o canteiro central tem 4,0 metros e as calçadas 2,0 metros. A opção pela implantação de 4 faixas de 3,0 metros em uma extensão de 40 metros até a linha de retenção poderia, por exemplo, tomar 2,10 metros do canteiro nessa extensão. A primeira questão seria, então, avaliar o impacto desta ação e, eventualmente, revisar sua extensão.

Na situação atual, sem a implantação da quarta faixa, com tempo de ciclo máximo de 120 segundos e tempo de verde efetivo de 60 segundos para o corredor A, sua capacidade medida foi de $C = 2000v/h \therefore S = \frac{C}{u} = 4000v/h$ é uma estimativa de campo de seu fluxo de saturação. A criação da quarta faixa (com extensão reduzida de 40 metros ou algum valor revisado) deve aumentar seu fluxo de saturação e sua capacidade, eventualmente, após redimensionamento do semáforo.

Novamente, a forma mais trabalhosa de estimar o impacto desta ação seria usar $S = S_b \cdot f_i \cdot f_{loc} \cdot f_{est} \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{vp}$, calibrando um fator de localização específico desta aproximação. A alternativa seria fazer a correção direta do valor de fluxo de saturação obtido em campo, considerando o aumento da largura efetiva de $L = 9,90m$ para $L - p$ com $L = 12,0m$ e p calculado segundo as recomendações usuais. Como a correção direta já foi ilustrada, a seguir será utilizado o método alternativo em todos os passos seguintes.

Para o caso da aproximação do corredor, sentido dominante, da interseção X tem-se:

$$S_b = \text{fluxo de saturação básico: } L = 9,90m \therefore S_b = 9,9 \cdot 525 = 5197,5 \text{veq/hv};$$

$$f_i = 1, f_{est} = 1 \text{ (hoje proibido)}, f_{cd} = 1 \text{ (com 10\% de conversões)}, f_{ce} = 1 \text{ (hoje proibido)},$$

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + p_i \cdot (e_i - 1)} = 0,87 \text{ (com 20\% de caminhões com equivalente } 1,75 \text{veq/vp)}$$

e, portanto, podemos encontrar o fator de localização como sendo

$$f_{loc} = \frac{S_{\text{campo}}}{S_b \cdot f_i \cdot f_{est} \cdot f_{cd} \cdot f_{ce} \cdot f_{vp}} = \frac{4000}{5197,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87} = 0,89.$$

Na situação proposta, com a implantação de uma faixa adicional de 40 metros, devemos considerar que esta nova faixa atua como se houvesse estacionamento permitido até 40

metros antes da linha de retenção. Assim, no cálculo do novo fluxo de saturação temos mudanças em apenas S_b e $f_{est} = \frac{L-p_\ell}{L}$, com $p_\ell = \left(1,68 - 0,9 \cdot \frac{z-7,6}{g}\right) \cdot f$.

No caso, tem-se $S_b = 12,00 \cdot 525 = 6300v/h$ e dado $z = 40m$, $g = 60s$ ($f = 1$) tem-se $p_\ell = 1,19m$ e $f_{est} = 0,91$. Portanto, $S' = 6300 \cdot 1,0,91 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 0,87 = 4439v/h$. Dessa forma, sem alterar o dimensionamento semafórico (com a mesma taxa de verde efetivo), passaríamos a ter uma capacidade $C' = 0,5 \cdot 4439 = 2219,5v/h$ para o corredor.

Naturalmente, a situação seria diferente com o redimensionamento do semáforo. O tempo de ciclo ótimo na hipótese de implantação de 4 faixas em 40 metros, seria obtida notando que teríamos:

$$y'_{E1} = \frac{Q}{S} = \frac{2500}{4439} = 0,56, \text{ mantendo-se } y_{E2} = 0,24 \text{ e } y_{E3} = 0,14$$

$$\therefore Y'_T = 0,94 \Rightarrow t_{co} = \frac{1,5 \cdot t_p + 5}{1 - Y'_T} = \frac{1,5 \cdot 12 + 5}{1 - 0,94} = \frac{23}{0,06} = 383\text{seg.}$$

Obs: Os cálculos estão sendo feitos com $Q=2500v/h$, admitindo a eliminação do gargalo em Y.

Novamente adotando o tempo de ciclo máximo igual a 120 segundos, restaria discutir a alocação do verde efetivo disponível ($120-12=108$ segundos). Com alocação proporcional do verde efetivo ter-se-ia:

$$g_{ef}^{E1} = \frac{0,56}{0,94} \cdot 108 = 64\text{seg} \therefore g_{E1} = 63\text{seg}, u_1 = \frac{64}{120} = 0,53 < 0,56$$

$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,24}{0,94} \cdot 108 = 28\text{seg} \therefore g_{E2} = 27\text{seg}, u_2 = \frac{28}{120} = 0,23 < 0,24$$

$$g_{ef}^{E3} = \frac{0,14}{0,94} \cdot 108 = 16\text{seg} \therefore g_{E3} = 15\text{seg}, u_3 = \frac{16}{120} = 0,13 < 0,14.$$

Portanto, a combinação da melhoria física e revisão do plano semafórico leva a uma situação bastante melhor mas ainda com leve saturação (a capacidade para o corredor na nova situação é $C = 0,53 \cdot 4439 = 2352,6v/h$). Naturalmente, uma alocação preservando o corredor também poderia ser utilizada.

O efeito das intervenções, como avaliadas pelos usuários, podem ser melhor ponderadas verificando seu impacto em termos de variáveis de serviço, como os atrasos.

Para os usuários do corredor A na situação atual (sem a intervenção no canteiro), com e sem a melhora de Y, admitindo um período de pico de $\frac{1}{2}$ hora, os atrasos seriam:

Atual (sem melhora em Y)

$$(Q=2200v/h): X = \frac{2200}{2000} = 1,10, y = \frac{2200}{4000} = 0,55, d_r = \frac{(1-0,50)^2}{(1-0,55)} \cdot \frac{120}{2} = 33\text{seg}$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \left[(1,10-1) + \sqrt{(1,10-1)^2 + \frac{8 \cdot 1,10}{2000 \cdot 0,5}} \right] = 106,7\text{seg} \text{ e } d = 33 + 106,7 = 139,7\text{seg}$$

Novo (com melhora em Y):

$$(Q=2500v/h): X = \frac{2500}{2000} = 1,25, \quad y = \frac{2500}{4000} = 0,625, \quad d_r = \frac{(1-0,50)^2}{(1-0,625)} \cdot \frac{120}{2} = 40\text{seg}$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \cdot \left[(1,25 - 1) + \sqrt{(1,25 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,25}{2000 \cdot 0,5}} \right] = 233,7\text{seg} \quad \text{e} \quad d = 40 + 233,7 = 276,7\text{seg}$$

Com as alterações consideradas (melhora em Y e intervenção do canteiro), sem ou com o redimensionamento do semáforo, as previsões correspondentes seriam:

$$\text{alterado (u=50\%): } X' = \frac{2500}{2219} = 1,126, \quad y' = \frac{2500}{4439} = 0,56, \quad d'_r = \frac{(1-0,50)^2}{(1-0,56)} \cdot \frac{120}{2} = 34,1\text{seg}$$

$$d'_s = \frac{1800}{4} \cdot \left[(1,126 - 1) + \sqrt{(1,126 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,126}{2219 \cdot 0,5}} \right] = 126,4\text{seg} \quad \text{e} \quad d' = 34,1 + 126,4 = 160,5\text{seg}.$$

$$\text{revisado (u=53\%): } X' = \frac{2500}{2352} = 1,062, \quad y' = \frac{2500}{4439} = 0,56, \quad d'_r = \frac{(1-0,53)^2}{(1-0,56)} \cdot \frac{120}{2} = 30,12\text{seg}$$

$$d'_s = \frac{1800}{4} \cdot \left[(1,062 - 1) + \sqrt{(1,062 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,062}{2352 \cdot 0,5}} \right] = 75,24\text{seg} \quad \text{e} \quad d = 30,12 + 75,24 = 105,36\text{seg}.$$

Portanto, mesmo sem eliminação total do gargalo em X, o efeito de redução de atraso é bastante significativo para o cenário de eliminação do gargalo em Y. Esta redução de atraso corresponde a uma redução de fila média de $n = \frac{2000}{3600} \cdot 276,6 = 221,3v$ para

$$n' = \frac{2352}{3600} \cdot 105,36 = 68,8v \quad (\text{também significativa})$$

Note que, supondo que não houve nenhuma alteração de rota, estes seriam os efeitos relevantes. Como estas estimativas são referentes à fila teórica, ainda poder-se-ia melhorar a precisão dos resultados aplicando os fatores de correção devido à dimensão física da fila, ao tempo de dissipação da fila e ao percurso realizado durante o tempo em fila.

Existe um aspecto mais importante, entretanto, que é o decorrente do fato de que a via A tem apenas 3 faixas adiante de X. Todo o procedimento de estimativa de fluxo de saturação utilizado até aqui (e, por consequência, os resultados dos dimensionamentos e avaliações realizados) assumem que seu valor decorre apenas das características das aproximações (isto é, do conjunto de faixas de uma via que chega ao cruzamento). Assume, portanto, que não há nenhuma restrição adiante do cruzamento (nas faixas que saem do cruzamento).

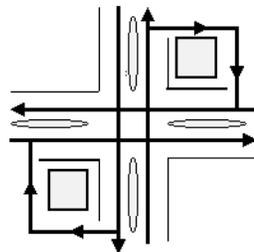
Como os fluxos que convergem à direita no cruzamento X são pequenos (estimado em cerca de 10%), todas as 4 faixas do corredor terão uma proporção significativa de fluxo direto (mesmo a faixa da direita, cuja capacidade supera em muito a demanda de conversões à direita). Por isso, a estimativa de fluxo de saturação obtidas pelo método analítico deveriam ser

revisadas para incorporar este efeito (ausente da observação original utilizada para calcular um fator de localização específico) e reduzir a estimativa de aumento de seu fluxo de saturação.

Não existem procedimentos validados para estimar esta redução, nos diversos em que ela ocorre, mas seria lícito impor que a contribuição da faixa adicional fosse limitada ao fluxo de conversão à direita (mantendo sua participação no fluxo de saturação) acrescentado ao fluxo de saturação adiante. Neste caso, uma melhoria na largura das faixas adiante (ou outra medida compensatória qualquer) serviria para minorar o efeito desta restrição. Se a via adiante tem a mesma característica da aproximação em X (cujo fluxo de saturação medido foi de 4000 v/h), esta idéia levaria a limitar o novo valor para $S' = \frac{S}{p_{cd}} = \frac{4000}{0,9} = 4444 \text{ v/h}$ (no caso, verificado).

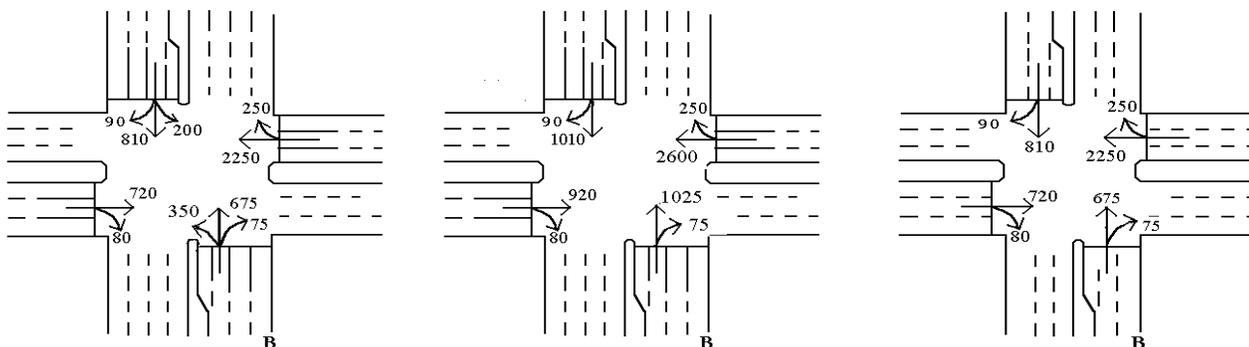
(5) Com alterações de circulação, os efeitos em termos de capacidade e atraso localizado têm de ser ponderados contra os atrasos de circuitação eventualmente introduzidos. A proibição das conversões à esquerda em B é deste tipo de medida, dado que os fluxos que demandam este movimento terão de utilizar um trajeto alternativo (em relação à conversão localizada) para realizar seu desejo de viagem. O ganho com uma eventual melhora da operação no semáforo é um benefício para todos e pode compensar o efeito de circuitação em termos globais (ou mesmo para cada um dos movimentos).

Para análise do esquema de loop de quadra proposto, as conversões à esquerda são conduzidas a realizar seu desejo de deslocamento passando direto pelo cruzamento na via B, realizando uma conversão à direita em uma via após o cruzamento, tomando outra via para atingir a via transversal, realizando uma conversão à direita da via transversal para a via A e passando novamente direto pelo cruzamento na via A (agora na direção desejada), conforme o esquema a seguir.



Portanto, a introdução da medida altera a composição dos movimentos na aproximação original e aumenta a demanda da via transversal com fluxos diretos (alterando também sua composição, em termos relativos). Outras opções tem efeitos distintos. Uma saída antecipada, por exemplo, reduziria os fluxos no cruzamento X (e transferiria sua demanda de conversão em B para realizar a mesma manobra em vias transversais posteriores, em cada sentido).

O esquema de fluxos, já admitindo a eliminação do gargalo em Y, para a situação original e para a demanda gerada na situação proposta com *loop* de quadra depois e na opção alternativa com saída antecipada é o seguinte:



Antes de calcular os novos tempos semafóricos para analisar a situação proposta ou qualquer alternativa, deve-se revisar os fluxos de saturação, em função das alterações da composição dos movimentos e, no caso da via B, do uso das faixas da aproximação.

Na aproximação do corredor A, apenas a composição de tráfego foi alterada (em função do aumento da proporção de fluxo direto no tráfego). Na situação atual, admite-se que há 10% de conversões à direita (que seriam 250 v/h) e, com o aumento do fluxo direto para 2550 v/h, passaria a ser $p_{cd} = \frac{250}{2850} = 8,7\%$. Segundo o método de Webster/Cobbe/66, as conversões à direita (ou, de forma genérica, as conversões sem fluxo oposto) apenas afetam os fluxos de saturação na parcela superior a 10%: Portanto, neste caso, a alteração é considerada irrelevante e o novo fluxo de saturação seria igual ao medido (4000 v/h). O aumento de demanda, no entanto, representa um aumento da taxa de solicitação de verde efetivo para $y = \frac{2850}{4000} = 0,71$ (o valor atual é de 0,625).

Para as aproximações da via B, além da alteração da composição de tráfego, há a incorporação da antiga baía de conversão (também com 40 metros) às faixas que servem ao fluxo direto. Note que os fluxos no dois sentidos da via B agora são bastante mais equilibrados (1100 v/h no sentido dominante e 1100 v/h no sentido não dominante) e que o sentido dominante atual tende a ser o mesmo sentido dominante do fluxo direto na situação original (a pista interna), dado que os fluxos de saturação são similares (a geometria é simétrica, o tratamento semaforico é idêntico e a composição de tráfego é similar, dado que a diferença na proporção de conversões à direita é irrelevante nos dois casos). Portanto, pode-se limitar a atenção à revisão do fluxo de saturação do sentido dominante apenas (seria feito da mesma forma para o outro sentido, caso fosse considerado desejável).

Novamente, a alteração relacionada com a mudança da proporção de conversões à direita é irrelevante e somente precisa ser avaliado o efeito decorrente da incorporação da antiga baía de conversão (com 40 metros) para escoar o fluxo direto. Além de considerar este aumento da largura da via para o fluxo direto decorrente de uma faixa de comprimento reduzido (avaliada, no método de Webster/Cobbe/66, através do fator de estacionamento), deve-se ponderar a eliminação da interferência dos fluxos que convergiam à esquerda utilizando a baía de conversão (uma questão mais complexa).

Com os valores de campo foram determinadas as taxas de solicitação dos movimentos críticos entre os fluxos diretos (que operam em E2, obtendo-se $y_{E2} = 0,24$) e os fluxos de conversão (que operam em E3, obtendo-se $y_{E3} = 0,14$). Considerando os fluxos correspondentes (900 v/h para o fluxo direto dominante e 350 v/h para o fluxo de conversão dominante, que opera no sentido não-dominante; o fluxo de conversão no sentido dominante possui uma demanda menor, portanto em termos de fluxo, não é dominante em relação a este último), estes valores correspondem a fluxos de saturação $S = \frac{900}{0,24} = 3750 \text{ v/h}$ ($C = u.S = 0,25.3750 = 937,5 \text{ v/h}$) para os fluxos diretos e $S = \frac{350}{0,14} = 2500 \text{ v/h}$ para os fluxos de conversão ($C = u.S = 0,15.2500 = 375 \text{ v/h}$). Note que estes valores indicariam que parte das faixas alocadas aos movimentos diretos poderiam estar sendo usadas para conversão à esquerda (provavelmente pela capacidade reduzida da baía de conversão).

A revisão consiste em avaliar o acréscimo do fluxo de saturação do movimento direto decorrente da eliminação dos fluxos de conversão à esquerda e incorporação da faixa correspondente à baía ao fluxo direto.

A avaliação do efeito da faixa de comprimento reduzido depende de uma suposição inicial sobre o verde efetivo. Admitindo um verde efetivo de 50 seg. (grosseiramente igual à duração dos estágios E2 e E3 e parte do tempo perdido eliminado), tem-se:

$$p_{\ell} = 1,68 - 0,9 \cdot \frac{40,0 - 7,6}{50} = 1,097\text{m} \text{ e } S' = \frac{13,20 - 1,097}{9,90} \cdot 3750 = 4584\text{v/h}$$

(13,20m corresponde às 4 faixas e 9,90m corresponde às 3 faixas, sem a baía).

A complexidade da revisão do efeito da eliminação das conversões à esquerda tem a ver com o tipo de interação deste grupo de tráfego com o fluxo direto na situação original. Esta interação está refletida no valor obtido com dados em campo e deve ser eliminada na revisão do seu valor (naturalmente, na nova situação tem-se $p''_{ce} = 0$ e $f''_{ce} = 1,0$).

Na melhor hipótese, a baía de conversão tem capacidade suficiente para armazenar toda a fila de veículos que buscam conversão à esquerda. Neste caso, a operação do fluxo direto pode ser dividida em dois períodos: o escoamento das faixas adjacentes à baía no início do verde (neste período, não há conversões pois estes veículos já foram para a baía) e o escoamento conjunto com saídas à esquerda para a baía (para os veículos que vão convergir à esquerda). No entanto, se a capacidade da baía de conversão for insuficiente em algum momento, existe um eventual bloqueio do fluxo direto pelos veículos parados ao final da baía (ou eventualmente nas faixas alocadas ao fluxo direto que, por sua vez, escoariam no estágio para as conversões, aumentando seu fluxo de saturação).

Não houve informação de campo sobre estas características e as técnicas para previsão de efeitos desta natureza são trabalhosas (normalmente seria utilizado um *software* especializado como o SIDRA, para realizar os cálculos iterativos envolvidos). Por este motivo, será adotada a hipótese intermediária de considerar todo o período operando com saídas de conversão para a baía (portanto sem fluxo oposto) e desprezar o efeito de eventuais bloqueios do fluxo direto (pela fila de conversão fora da baía). Neste caso, para o efeito das conversões à esquerda (que serão eliminadas) no sentido dominante do fluxo direto tem-se

$$p_{ce} = \frac{200}{900 + 200} = 18\%, \quad f_{ce} = \frac{100}{100 + (18 - 10)(1,25 - 1)} = 0,98 \text{ e } S'' = \frac{1,0}{0,98} \cdot 4584 = 4677,5\text{v/h}$$

(note que a correção correspondeu à eliminação das conversões à esquerda). Portanto, no estágio para a via B, ter-se-á $y_{E2} = \frac{1100}{4677,5} = 0,235$.

Desta forma, podemos redimensionar o semáforo para a nova situação, com dois estágios, sendo $Y = 0,71 + 0,235 = 0,945$. Admitindo $t_p = 8\text{seg}$, tem-se:

$$t_{co} = \frac{1,5 \cdot 8 + 5}{1 - 0,945} = \frac{17}{0,055} = 309\text{seg} > t_c^{\text{máx}} = 120\text{seg},$$

$$\therefore t_c = 120\text{seg}, \quad G_{ef} \cdot 120 - 8 = 112\text{seg},$$

$$g_{ef}^{E1} = \frac{0,70}{0,935} \cdot 112 = 84 \text{seg} \therefore g_{E1} = 83 \text{seg}, u_1 = \frac{84}{120} = 0,70 < 0,71!,$$

$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,235}{0,935} \cdot 112 = 28 \text{seg} \therefore g_{E1} = 27 \text{seg}, u_1 = \frac{28}{120} = 0,233 < 0,235$$

basicamente no limite de capacidade para cada grupo de tráfego crítico ($C = 0,70 \cdot 4000 = 2800 \text{v/h}$ para A e $C = 0,233 \cdot 4675,7 = 1089 \text{v/h}$ para B). Esta situação não é, naturalmente ideal, mas é bem melhor que a atual em termos de saturação. Para proteger o corredor A limitando seu grau de saturação em 95%, ter-se-ia que $u_1 = \frac{0,71}{0,95} = 0,74$, e a taxa

de verde efetivo $g_{ef}^{E1} = 0,74 \cdot 120 = 89 \text{seg}$. Para B, $g_{ef}^{E2} = 112 - 89 = 23 \text{seg}$, $u_2 = \frac{23}{120} = 0,19 < 0,235$,

saturando um pouco mais a via B.

Entretanto, como houve alterações de circulação, as melhorias em termos de atraso na interseção deveriam ser comparadas com os atrasos de circuitação gerados. Para cada veículo que faz conversão à esquerda (350 v/h e 200 v/h, em cada sentido), admitindo quadras regulares de 100 metros e uma velocidade de 40 km/h (11 m/s, média global), o trajeto adicional corresponde a $d_c = \frac{4 \cdot 100}{11} = 36 \text{seg}$ adicionais por veículo.

Admitindo a eliminação do gargalo em Y, a situação atual em X ($Q = 2500 \text{v/h}$) para os movimentos (fluxos) dominantes seria:

$$E1: X = \frac{2500}{2000} = 1,25, y = \frac{2500}{4000} = 0,625, u = 0,50, d_r = \frac{(1-0,50)^2}{(1-0,625)} \cdot \frac{120}{2} = 40 \text{seg},$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \left[(1,25 - 1) + \sqrt{(1,25 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,25}{2000 \cdot 0,5}} \right] = 233,7 \text{seg} \text{ e } d = 40 + 233,7 = 273,7 \text{seg},$$

$$E2: X = \frac{900}{937,5} = 0,96, y = \frac{900}{3750} = 0,24, u = 0,25, d_r = \frac{(1-0,25)^2}{(1-0,24)} \cdot \frac{120}{2} = 44 \text{seg},$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \left[(0,96 - 1) + \sqrt{(0,96 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 0,96}{937,5 \cdot 0,5}} \right] = 42 \text{seg} \text{ e } d = 44 + 42 = 86 \text{seg},$$

$$E3: X = \frac{350}{375} = 0,93, y = \frac{350}{2500} = 0,14, u = 0,15, d_r = \frac{(1-0,15)^2}{(1-0,12)} \cdot \frac{120}{2} = 50 \text{seg},$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \left[(0,93 - 1) + \sqrt{(0,93 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 0,93}{375 \cdot 0,5}} \right] = 63,5 \text{seg} \text{ e } d = 50 + 63,5 = 113,5 \text{seg}.$$

Na nova situação, os atrasos no semáforo do cruzamento X seriam os seguintes:

$$E1: X = \frac{2850}{2800} = 1,01, \quad y = \frac{2850}{4000} = 0,71, \quad u = 0,70, \quad d_r = \frac{(1-0,70)^2}{(1-0,71)} \cdot \frac{120}{2} = 18\text{seg}$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \cdot \left((1,01-1) + \sqrt{(1,01-1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,01}{2800 \cdot 0,5}} \right) = 34\text{seg} \quad \text{e} \quad d = 18 + 34 = 52\text{seg},$$

$$E2: X = \frac{1100}{1089} = 1,01, \quad y = \frac{1100}{4675,7} = 0,235, \quad u = 0,233, \quad d_r = \frac{(1-0,233)^2}{(1-0,235)} \cdot \frac{120}{2} = 46\text{seg}$$

$$d_s = \frac{1800}{4} \cdot \left((1,01-1) + \sqrt{(1,01-1)^2 + \frac{8 \cdot 1 \cdot 1,01}{1089 \cdot 0,5}} \right) = 59,5\text{seg} \quad \text{e} \quad d = 46 + 59,5 = 105,5\text{seg}.$$

Note, então, que a opção de *loop* de quadra produziu uma melhora significativa para o fluxo da via A (originalmente 2500 v/h no sentido dominante, com a eliminação do gargalo em Y, cuja previsão de atraso reduziu-se em 221,7 seg por veículo ou 154 veículo-hora no total) e teve pequeno impacto sobre o fluxo direto dominante da via B (900v/h, cuja previsão de atraso cresceu 19,5 seg. por veículo ou 5 veículo-hora no total, efeito basicamente decorrente apenas do redimensionamento do semáforo, que na situação original beneficiava B). Já o fluxo dominante de conversão à esquerda, além do atraso de circuitação de 36 seg., teve um novo atraso na via A de 52 seg. e uma diminuição de atraso na via B de 8 seg., que somados representam um tempo de viagem adicional de 76 seg. por veículo ou 7,3 veículo-hora no total.

Esta opção de circulação teria a vantagem de ter custo e prazo de implantação reduzidos (basicamente relacionados com alterações da sinalização de orientação e os esquemas de implantação da medida).

Naturalmente, a incorporação na proposta de medidas físicas ou um dimensionamento semaforico diferente poderiam compensar as perdas para os fluxos diretos na via B mas dificilmente anularia os transtornos causados às conversões à esquerda. Além disso, mesmo obtendo um resultado global positivo, do ponto de vista de tráfego, restaria discutir se outros tratamentos de circulação seriam mais eficientes e também viáveis.

Outras opções de circulação teriam efeitos diversos. No caso da alternativa com saída antecipada, a redução de fluxo na via B é significativa (o que implica em menor taxa de solicitação em B e, portanto, mais verde efetivo disponível para A e maior capacidade). Esta demanda de conversão à esquerda é transferida para outras interseções (em que possivelmente possam ser tratados melhor) nesta estratégia de saída antecipada.

O impacto da saída antecipada na interseção X seria um ponto importante. Note que a situação na via A, em termos de demanda e fluxo de saturação, seria a mesma e que a situação na via B teria a demanda dos fluxos diretos e de conversão à direita apenas e o fluxo de saturação de toda a seção na aproximação (incluindo a faixa reduzida). Esta melhor situação operacional deve beneficiar todos os fluxos diretos e todas as conversões à direita atuais da interseção X. A saída antecipada também eliminaria o atraso de circuitação (a menos de trajetos menores no percurso pelas vias paralelas ao corredor) mas teria os atrasos adicionais provocados pelas conversões à esquerda nas interseções adjacentes usadas para

saída da via B e para volta à via A (que afeta também os fluxos anteriormente existentes nestas interseções).

Ambos os efeitos devem ser avaliados para ter uma análise ponderada dos efeitos desta opção alternativa (além de outros aspectos).

Analisando agora a situação de utilizar as mesmas vias que estão servindo de *loop* para as conversões à esquerda da via B também para as conversões à esquerda da via A, tem de ser consideradas as alterações de rota e, em decorrência, dos fluxos nas diversas aproximações da interseção. As vias utilizadas para um *loop* depois para as conversões à esquerda da via B criam uma opção de *loop* antes para as conversões à esquerda da via A, se as vias utilizadas no *loop* são bidirecionais.

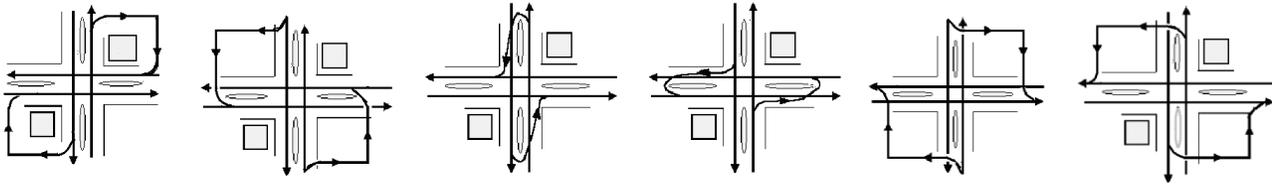
Para o fluxo de conversões à esquerda do sentido dominante de A, o fluxo deixaria de realizar um *loop* paralelo e passaria a utilizar o *loop* antes. Portanto, o fluxo deixaria de passar adiante no sentido dominante de A e de fazer a conversão à esquerda contra o fluxo oposto de A adiante da interseção X e passaria a convergir à direita antes do cruzamento X, entrar na via B convergindo à esquerda de uma via transversal e cruzar a interseção X com o fluxo dominante de B. As conversões à esquerda de A deixaram de sobrecarregar o fluxo direto dominante de A mas passaram a sobrecarregar o fluxo direto dominante de B. A conversão à esquerda depois da interseção X em A passou a ocorrer antes da interseção X em B.

Para o fluxo de conversões à esquerda do sentido não dominante de A, o fluxo eventualmente deixaria de realizar um *loop* antes por outras vias para usar as vias do *loop* depois criado para as conversões à esquerda da via B (o que ocorreria se a circuitação correspondente fosse menor e, especialmente, a manobra de entrada à esquerda na via B fosse mais fácil na nova via de *loop*). Se as vias do *loop* depois das conversões à esquerda da via B são as anteriormente utilizadas para o *loop* antes das conversões da via A, o único efeito seria o aumento do seu tráfego. Caso contrário, o impacto depende das vantagens e desvantagens específicas de cada alternativa viária para o *loop* antes.

É interessante notar que a escolha dos usuários entre as opções atualmente utilizadas e as novas opções criadas são feitas em função da operação do tráfego em cada opção (principalmente fluidez mas também segurança), segundo o interesse específico de cada deslocamento. Para favorecer uma opção, deve-se melhorar seu desempenho (ou restringir a opção alternativa). Se a alternativa projetada não for eficiente, os usuários da via (de ambas as vias) buscarão outras opções quaisquer (eventualmente até manobras irregulares ou forçadas, nos casos em que a alternativa regular não é compreendida ou é muito desfavorável).

Por fim, quanto aos tratamentos de circulação propostos, a avaliação genérica também não é suficiente e a discussão tem de considerar características específicas de cada local. Para todos os casos, é necessário analisar o impacto decorrente do desvio do tráfego que utilizaria a conversão à esquerda em B. Para isso, deve-se analisar se os cruzamentos abaixo indicados tem capacidade para incorporar tal demanda. Caso satisfaçam tal requisito, as opções acima poderiam ser utilizadas com boa eficiência (já vimos que a opção de *loop* de quadra não é uma boa alternativa).

loop de quadra: depois ou antes retornos: depois ou antes saída antecipada loop paralelo



A tabela a seguir resume aspectos relacionados com cada opção de circulação, discutidos de forma genérica (não especificamente da interseção X), em que a necessidade de conversão à esquerda pode ser tanto do corredor quanto da via transversal.

	Volume na interseção	Entradas e saídas	Outras interferências
Loop de Quadra Depois	Aumenta	1 saída à direita após e 1 entrada à direita antes da interseção	Maior circuitação; pode gerar tráfego de passagem em vias secundárias.
Loop de Quadra Antes	Não altera	1 saída à direita antes e 1 entrada à esquerda também antes da interseção	Maior circuitação; pode gerar tráfego de passagem em vias secundárias; conflito com os 2 sentidos da via transversal na entrada à esquerda
Retorno Depois	Aumenta	1 retorno contra o sentido oposto	Maior circuitação; conflito de entrelaçamento após o retorno para convergir à direita no sentido oposto; a fila no retorno pode gerar bloqueio do fluxo direto. Fácil semaforizar o retorno e sincronizá-lo com semáforo principal (mesmo sentido) mas pode afetar interseção anterior se estiver próxima.
Retorno na Transversal	Aumenta	1 retorno contra a via transversal	Maior circuitação; eventualmente a fila no retorno pode gerar bloqueio do fluxo transversal. Fácil semaforizar o retorno e sincronizá-lo com semáforo principal (mesmo sentido) mas pode afetar interseção anterior se próxima.
Saída Antecipada	Diminui	1 saída à esquerda antes e 1 entrada à esquerda após a interseção.	Pode gerar tráfego de passagem em vias secundárias; conflito com o sentido oposto na saída do corredor; conflito com os 2 sentidos da via transversal na entrada à esquerda (exceto em vias de mão-única).
Loop Paralelo	Não altera	1 saída à esquerda, após e 1 entrada à direita também após a interseção.	Maior circuitação; pode gerar tráfego de passagem em vias secundárias. As manobras de conversão à direita são afetadas pelos pelotões gerados pelo semáforo anterior, se estiver próximo.

Aspectos específicos, especialmente os relacionados com segurança viária, podem alterar radicalmente a preferência por um ou outro esquema. Por exemplo, as conversões à esquerda são problemáticas no caso do entorno da interseção X porque as vias transversais são bidirecionais (não seriam em uma região onde as transversais tem mão-única). Outro exemplo: como o corredor A está saturado, alternativas de *loop* que sobrecarregam suas aproximações (como os *loops* de quadra, depois ou mesmo antes) são indesejáveis (ao contrário do *loop* paralelo, por exemplo).

Diversos outros aspectos como o padrão físico das via de circuitação, a visibilidade nas entradas à direita não semaforizadas para o corredor ou das conversões à esquerda com fluxo oposto, incluindo a viabilidade operacional destas manobras, também influenciam a escolha da melhor opção de alteração de circulação em cada caso específico. Em todos os casos, pode-se passar a operar as vias transversais com sentido único se for necessário para acomodar para o tráfego e o esquema for aceitável para a comunidade local.

Outros esquemas podem ser concebidos. Por exemplo, pode-se realizar toda a circulação pelas vias transversais (de modo a eliminar conversões à esquerda para as vias principais, utilizando *loops* de circulação em todos os quadrantes adjacentes à interseção, normalmente no mesmo sentido de circulação de rotatórias usuais).

(6) As transformações mais radicais visam obter um incremento bastante mais significativo para a capacidade de tráfego no corredor A, o que poderia estar relacionado com uma diretriz urbanística de fomentar o crescimento da ocupação na região servida por esse eixo viário. As opções radicais podem ser separadas em dois grupos, em função da visão subjacente em termos de estratégia funcional.

O primeiro grupo de intervenções preserva as características do corredor arterial e busca o incremento de capacidade pela incorporação das ligações paralelas **a1** e **a2** ao sistema viário estrutural. De forma a obter um sistema balanceado e contínuo, as condições de ligação entre a via A e as vias auxiliares a1 e a2 são também melhoradas. A transformação causada na área adjacente às vias a1 e a2 decorrente do impacto do tráfego passagem gerado por esta opção pode trazer incômodos à comunidade local e deve produzir mudanças de uso do solo. Problemas de segurança viária podem também afetar esta região, especialmente se não houver cuidado em preparar a acomodação desta nova função viária. Deve-se notar que este é o caminho “natural” gerado pela pressão do crescimento do tráfego e acarretará, se não for antecipado ou coibido, os transtornos mencionados antes da transformação viária.

Nesta opção, a atração do tráfego para a1 e a2 é essencial para melhorar as condições de tráfego (visto que a via A está já saturada). Isso é obtido melhorando as condições de operação para o tráfego de passagem em a1 e a2 e suas condições de ligação com a via A, através do binário de acesso. O fechamento do canteiro em outras interseções deve também direcionar o tráfego lindeiro ao binário ou à via B, mas a melhoria da velocidade de percurso no binário de acesso e em a1 e a2 seria a transformação a ser feita para implantar esta estratégia (através de preferência nas interseções, implantação e sincronização de semáforos, eventual restrição de estacionamento e uso de sentido único de circulação, entre outras medidas). A extensão do tratamento dado às vias auxiliares a1 e a2 para além do cruzamento da via B, paralelamente à via A, pode apoiar sua incorporação e aliviar a interseção X.

Estes esquemas podem ser implantados integralmente ou introduzidos de forma progressiva. A ordem de implantação das intervenções depende do atendimento a necessidades de tráfego relevantes em cada etapa. Por exemplo, se tem de ser oferecida uma alternativa de deslocamento em direção ao centro, além da via B, além da criação do binário de acesso a a1 e a2, tem de ser melhorada sua operação no cruzamento da via B (instalando semáforo, se não houver, ou ajustando sua capacidade ou temporização). O fechamento dos canteiros centrais na via A (normalmente com a remoção dos semáforos intermediários) e as restrições de estacionamento ou uso de sentido único de circulação em a1 e a2 podem ser introduzidos quando necessário para compatibilizar a operação viária com a demanda atraída.

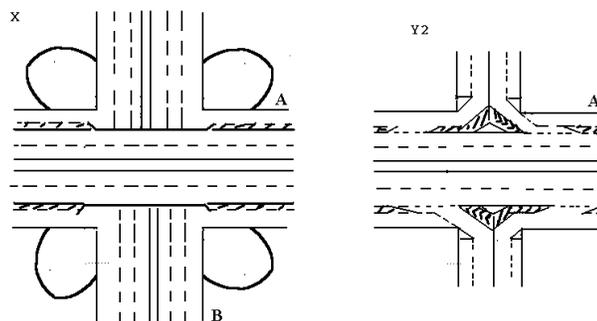
Em termos de acréscimo de capacidade, o potencial de medidas desta natureza depende do número de faixas adicionado nas aproximações de a1 e a2 e, considerando a operação semaforizada de seus cruzamentos com a via B, da taxa de verde efetivo proporcionada. Considerando um horizonte final com circulação em sentido único em 4 faixas de tráfego (isto é, com proibição de estacionamento em ambos os lados por um trecho relevante) e assumindo valores de capacidade por faixa de 640 v/h (correspondentes a um fluxo de saturação por faixa de 1600v/h e 40% de verde efetivo no cruzamento com a via B), seria obtido um crescimento de capacidade de cerca de 2560v/h. Neste caso, o entorno das vias auxiliares a1 e a2 seria bastante afetado.

O segundo grupo de intervenções transforma as características de operação da via A de forma a manter o atendimento do fluxo de deslocamento nesta via. Em ambos os casos, a interconexão em desnível em X seria normalmente feita elevando as faixas diretas da via A para permitir a transposição sobre a via B. Salvo em situações físicas singulares que favoreçam este alinhamento vertical, este elevado afetaria as edificações lindeiras em mais de 200 metros para atingir uma cota de cerca de 5 metros (que corresponde a uma rampa de mais de 2%), produzindo um efeito adverso na operação do tráfego, além do impacto ambiental.

A opção de transformar um corredor arterial em expresso ou semi-expresso é crítica, em vista dos enormes problemas de segurança viária acarretados pelo aumento decorrente de velocidade. Obter condições seguras de tráfego com altas velocidades é uma tarefa difícil, mesmo uma via projetada originalmente para acomodar estas condições de operação. A discussão feita a seguir apenas ilustra os efeitos na fluidez (capacidade e operação do tráfego) decorrentes de uma intervenção desta natureza, sem ponderar estes outros efeitos (para o tráfego de passagem ou local, além da circulação de pedestres). O efeito de segregação espacial seria, normalmente, um problema bastante importante a ser também considerado.

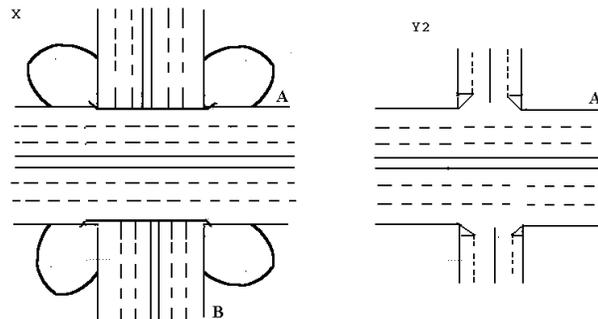
No caso da estratégia de transformar o corredor A em expresso, transformações adicionais devem ser feitas para proporcionar controle total de acesso e proporcionar rotas alternativas para os diversos deslocamentos não servidos diretamente. Todos os cruzamentos em nível teriam o canteiro fechado e uma transição deveria ser proporcionada para a incorporação e separação dos fluxos relacionados com as vias adjacentes ao corredor. A opção mais econômica seria segregar uma das faixas de tráfego do corredor para esta função, de maneira a evitar desapropriações em trechos extensos.

A seção transversal teria 2 faixas reservadas para o tráfego de passagem e a faixa lindeira serviria o tráfego gerado pelos lotes e pelas vias existentes em curtas extensão. A segregação entre as faixas expressas e a faixa lindeira poderia ser sinalizada com sinalização horizontal e balizadores de tráfego (que dificultassem a sua transposição por manobras irregulares). Em interconexões especiais, haveria o cruzamento com as vias transversais (como a via B) feita em desnível (por exemplo, elevando a via A) e condições especiais de acesso (que poderiam gerar um tráfego intenso de entrada e saída de ambos os corredores). A seguir, será admitido que haverá apenas uma interconexão no trecho considerado, em X, ficando as demais interconexões afastadas de quilômetros em cada direção da via A. Haverá, entretanto, entradas e saídas de fluxo em cada via transversal anterior (1, 2, 3, 4, Y, ...). Estas características estão ilustradas pelos esquemas reproduzidos abaixo.



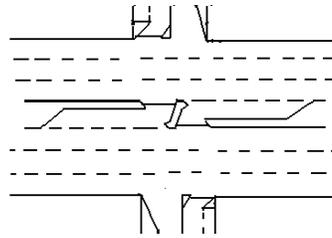
A capacidade obténivel com uma intervenção desta natureza pode ser avaliada analisando a operação expressa das duas faixas de tráfego segregadas para o fluxo de passagem e depende da configuração da seção transversal e do perfil longitudinal da via. Assumindo uma seção transversal com 2 faixas expressas de 3,30 metros, barreiras de ambos os lados e uma rampa crítica de mais 2% no trecho elevado, a velocidade de fluxo livre para autos com operação expressa poderia ser avaliada como algo ao redor de 80 km/h e a capacidade por faixa para cerca de 2200 veq/h (ou 2095 v/h, para uma porcentagem de veículos pesados de 10% e um fator equivalente igual a 1,5 veq/vp). Portanto, as duas faixas expressas aumentariam a capacidade para 4190 v/h.

No caso da estratégia de transformar o corredor A em semi-expresso, as transformações físicas na via A seriam menores e existiriam diversas opções complementares que poderiam determinar maior ou menor grau de obtenção dos efeitos comentados em relação à opção expressa. Por exemplo, pode-se manter alguns poucos semáforos (por exemplo, apenas em Y e X), usar ou não alças de acesso/egresso na interconexão em desnível com X (por exemplo, mantendo um semáforo no cruzamento com a via B, sob o viaduto, para atender as manobras conflitantes com A, evitando assim afetar as vias adjacentes), fechar totalmente os canteiros centrais ou não (por exemplo, mantendo condições para as conversões à esquerda de saída do corredor com semáforos ou nas suas imediações). A opção inicialmente esquematizada, reproduzida a seguir, seria a alternativa mais radical.



Neste caso, existiria também a opção de implantação progressiva mas teria de haver um cuidado especial para evitar mudanças bruscas de ambiente operacional ao longo do corredor. As medidas que implicam no aumento das velocidades na via A trazem um razoável potencial de também aumento nos problemas de segurança viária. Por esse motivo, normalmente será necessário incluir diversas medidas complementares para adequar a nova operação da via às necessidades do tráfego local de veículos e pedestres. Estas medidas podem ir de dispositivos de canalização de tráfego mais ou menos complexos (incluindo o bloqueio de movimentos perigosos em trechos específicos) até a separação de nível para fluxos mais importantes (como na interconexão em X). Estes problemas ocorrem também na opção arterial, especialmente na via A mas também em a1 e a2, em um grau crescente com o fluxo de tráfego das vias.

Diversas das opções comentadas acima dependem de existirem condições adequadas de segurança para sua realização. O melhor exemplo seria a alternativa de acomodar as conversões à esquerda de saída do corredor A nas interseções intermediárias. Um esquema do tratamento considerado seria o seguinte:

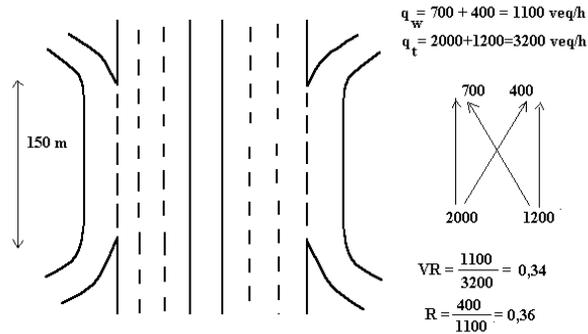


Naturalmente, isto introduziria um potencial de colisão entre veículos do fluxo direto de A e as manobras de conversão à esquerda do fluxo oposto que pode tornar a opção inviável. A possibilidade de usar um tratamento desta natureza depende, antes de qualquer aspecto, da magnitude dos fluxos de conversão à esquerda, da existência de intervisibilidade adequada entre os fluxos conflitantes. Além disso, dada a magnitude dos fluxos na via A, a capacidade destas manobras de saída do corredor dependeria de forma crítica da existência de um padrão de operação dominado por semáforos no fluxo principal que oferecessem condições favoráveis de cruzamento fora dos períodos de escoamento dos pelotões.

A capacidade obtível com uma intervenção neste tipo de intervenção pode ser avaliada analisando a operação semi-expressa das três faixas de tráfego da via A. Esta análise depende do efeito das interferências lindeiras (admitindo a inexistência de outros semáforos), além da configuração da seção transversal e do perfil longitudinal da via. Assumindo uma seção transversal com 3 faixas de tráfego em ambiente urbano, barreiras de ambos os lados e uma rampa crítica de mais 2% no trecho elevado, a velocidade de fluxo livre para autos com operação semi-expressa poderia ser avaliada como algo ao redor de 60 km/h e a capacidade por faixa para cerca de 1800 veq/h (ou 1714 v/h, para uma porcentagem de veículos pesados de 10% e um fator equivalente igual a 1,5 veq/vp). Portanto, as três faixas semi-expressas aumentariam a capacidade para 5142 v/h.

Em ambas as alternativas deste segundo grupo de intervenções, o impacto do fluxo de passagem seria aumentado mas ficaria confinado à via A. Além do incremento de capacidade, estas alternativas tem um potencial maior de aumento da velocidade (por obter condições de fluxo contínuo na via A). A realização deste potencial depende de garantir operação não congestionada para a via A, ou seja, de obter balanceamento entre demanda e capacidade ao longo de todo o corredor expresso ou semi-expresso. Como filas geradas por sobre-demanda, especialmente em vias que operam em fluxo contínuo, podem atingir grandes extensões, esta preocupação deve ser levada aos trechos adiante do cruzamento com a via B. Neste caso, o incremento de capacidade tem de ser obtido em todos os trechos adiante, até atingir a região de destino de parcela relevante da demanda servida pelo corredor A, sempre de forma balanceada.

Deve-se notar que os gargalos de capacidade podem situar-se fora das rampas críticas, em especial se existirem fluxos significativos de entrada e saída junto às interconexões. A melhor situação seria operar estes trechos como entrelaçamentos, o que implicaria em adicionar pelo menos uma faixa contínua para os fluxos de retorno (que não necessitariam entrar no fluxo direto), caso contrário a análise teria de considerar uma composição de um acesso e um egresso sucessivos. A distância entre a entrada e saída de fluxos gerados seria outra variável física importante. Por exemplo, admitindo que o entrelaçamento crítico tem os dados de tráfego mostrados a seguir, pode-se avaliar a capacidade da seção correspondente.



Na alternativa semi-expressa, estes entrelaçamentos ocorreriam sobre o viaduto, na via A, e sob o viaduto, na via B, e limitariam diretamente a capacidade do corredor. Neste caso, o entrelaçamento crítico com uma faixa adicional e extensão de 150 metros teria uma capacidade de 5650 veq/h (ou 5380 v/h). Uma extensão de 300 metros aumentaria a capacidade para 6250 veq/h (ou 5950 v/h, por reduzir a turbulência relacionada pela interferência das manobras de entrada e saída). Portanto, uma faixa adicional de ligação entre os ramais de acesso e egresso seria capaz de evitar o surgimento de um gargalo no entrelaçamento.

Na alternativa expressa, o fluxo de passagem seria segregado e normalmente não sofreria interferência dos entrelaçamentos (a menos que o efeito de redução de velocidade e/ou restrição de capacidade fosse propagado à montante até as faixas expressas).