



# Nota Técnica 267

## VERDE COMPARTILHADO

Sun Hsien Ming

Agosto 2020



## 1. Introdução

O dilema na escolha entre segurança e fluidez nas soluções de Engenharia de tráfego é ainda mais difícil quando se trata de pedestres. Soluções como o estágio exclusivo de pedestres propiciam, teoricamente, maior segurança, mas, em contrapartida, impõem ao pedestre pesada penalidade em termos de tempo de espera. Por outro lado, liberar o sinal verde do semáforo simultaneamente para veículos e pedestres, como é o caso do verde compartilhado, reduz o tempo de espera, mas pode impor ao pedestre uma travessia que precisa ser negociada com os veículos, com a sua consequente exposição a conflitos.

Existem soluções que tenham a capacidade de conciliar a segurança do pedestre com o tempo de espera?

Visando levantar subsídios para responder a essa questão, o presente trabalho pretende traçar um "raio-X" sobre essa problemática, esmiuçando vantagens e desvantagens de cada solução, além de apresentar algumas práticas e soluções adotadas em outros países e fazer uma breve descrição de alguns estudos comparativos encontrados na literatura. O trabalho traz também exemplos numéricos com o intuito de se obter uma ideia da magnitude dos atrasos e dos tempos de espera envolvidos em cada um dos cenários analisados.

## 2. Verde Compartilhado

Para efeitos do presente artigo, "verde compartilhado" se refere à forma de sinalização semafórica, propiciada pela indicação luminosa verde de focos semafóricos, que permite o direito de passagem simultâneo a movimentos de pedestres e veículos, cujas trajetórias se interceptam em algum ponto da área de conflito. No caso, o compartilhamento do verde é feito para movimentos veiculares de conversão e movimentos de pedestres, conforme ilustrado na Figura 1.

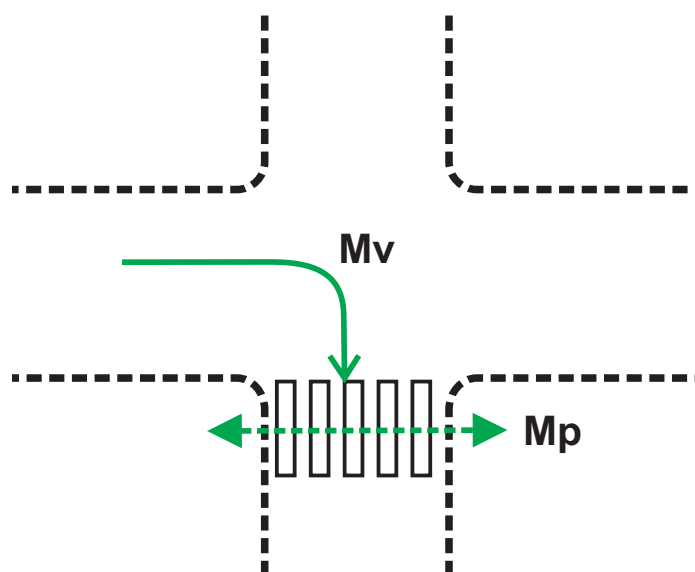


Figura 1 - Indicação luminosa verde concomitante para movimento veicular de conversão à direita  $M_v$  e para movimento de pedestres  $M_p$

Essa forma de sinalização é utilizada por vários países.

O documento "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1] fornece um esquema que ilustra o verde compartilhado, conforme mostra a Figura 2.

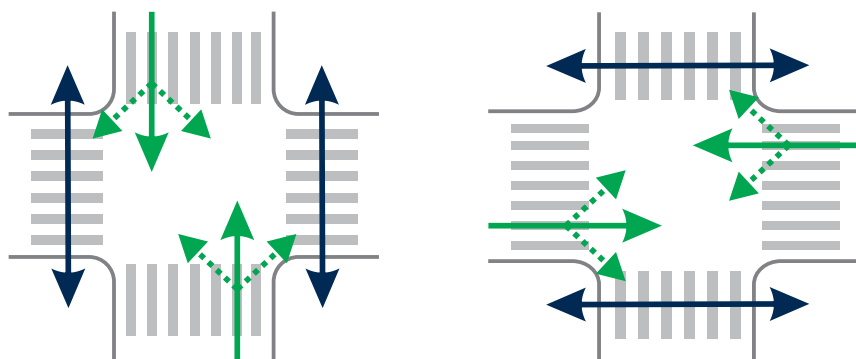


Figura 2 - Esquema representativo do verde compartilhado  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study -  
 October 2017 - NYC DOT" [1]

Note que, em termos operacionais, o verde compartilhado é idêntico a uma travessia não sinalizada com focos de pedestres, exceto pelo período de vermelho intermitente. No cenário com verde compartilhado, o pedestre não pode, legalmente, iniciar a travessia durante o período de vermelho intermitente<sup>1</sup> (o pedestre pode iniciar a travessia somente no período de verde). Na travessia não sinalizada com focos de pedestres, não existe esse período, uma vez que não existe nenhuma indicação luminosa destinada a pedestres.

### 3. ASPECTO LEGAL

Um aspecto que deve ser analisado é se há embasamento legal na legislação brasileira para que a sinalização de verde compartilhado entre movimentos veiculares de conversão e movimentos de pedestres seja implantada no Brasil.

No nosso entendimento, o Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro - CTB de 22/04/2004 [2], no seu item 4.1.2, Cores das Indicações Luminosas, letra "b", quando define o significado da cor verde do semáforo veicular, combinado com os Artigos 38 e 214, ambos do Código de Trânsito Brasileiro - CTB [3], dá o devido embasamento legal para o verde compartilhado. Se não, vejamos:

Item 4.1.2 do Anexo II, letra "b":

*Verde: indica permissão de prosseguir na marcha, podendo o condutor efetuar as operações indicadas pelo sinal luminoso, respeitadas as normas gerais de circulação e conduta.* (grifo nosso)

O texto acima, reproduzido do Anexo II [2], deixa claro que a indicação verde do semáforo não significa direito de passagem absoluto. O direito de passagem concedido pela luz verde está condicionado às normas gerais de circulação e conduta, isto é, apesar da indicação verde, deve-se ceder a preferência de passagem conforme as normas gerais de circulação e conduta.

As normas gerais de circulação e conduta aplicáveis ao caso são dadas no Parágrafo Único do Artigo 38 do CTB [3]:

*Art. 38. Antes de entrar à direita ou à esquerda, em outra via ou em lotes lindeiros, o condutor deverá:*

----

----

*Parágrafo único. Durante a manobra de mudança de direção, o condutor deverá ceder passagem aos pedestres e ciclistas, aos veículos que transitarem em sentido contrário pela pista da via da qual vai sair, respeitadas as normas de preferência de passagem.* (grifo nosso)

<sup>1</sup> O tempo de vermelho intermitente é o tempo necessário para concluir a travessia.

Ou seja, quando do sinal verde, o motorista que fizer a manobra de mudança de direção, à direita ou à esquerda, deverá dar a preferência de passagem aos pedestres e ciclistas. Portanto, a indicação verde para o motorista que estiver fazendo uma conversão não lhe dá direito de passagem absoluto. Mesmo com sinal verde, ele deverá ceder passagem para pedestres e ciclistas.

O condutor que, numa conversão, não ceder passagem a pedestres e ciclistas, poderá ser autuado de acordo com o Artigo 214 do CTB [3]:

*Art. 214. Deixar de dar preferência de passagem a pedestre e a veículo não motorizado:*

*I - que se encontre na faixa a ele destinada;*

*II - que não haja concluído a travessia mesmo que ocorra sinal verde para o veículo;*

*III - portadores de deficiência física, crianças, idosos e gestantes;*

*IV - quando houver iniciado a travessia mesmo que não haja sinalização a ele destinada; (grifo nosso)*

*V - ....*

*Infração - grave;*

*Penalidade - multa.*

Note que no inciso IV do Artigo 214 do CTB [3] consta: "... mesmo que não haja sinalização a ele destinada". Ou seja, pode haver sinalização a ele destinada (no caso, a indicação verde para pedestre ou veículo não motorizado).

Logo, numa situação de verde compartilhado, o condutor que, numa manobra de conversão, não der preferência de passagem ao pedestre poderá ser autuado com base no Artigo 214, utilizando-se do mesmo enquadramento para a situação em que o condutor, ao fazer a manobra de conversão, não tenha dado preferência de passagem ao pedestre numa travessia não sinalizada com foco de pedestres.

A rigor, a situação de verde compartilhado não difere, legalmente, do caso de uma conversão à esquerda em via de duas mãos de direção. Neste caso, tanto o condutor que faz a conversão como os condutores do movimento oposto recebem a indicação verde de forma concomitante, mas o veículo que faz a manobra tem que dar preferência de passagem para o movimento oposto.

## 4. CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V [4] dá a seguinte classificação para os movimentos:

- a) *Movimentos conflitantes: movimentos com origens diferentes cujas trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito.*
- b) *Movimentos não-conflitantes: movimentos cujas trajetórias não se interceptam nem convergem em nenhum ponto da área de conflito.*

Entretanto, para efeitos de controle semaforico, essa classificação não é adequada, pois pode haver movimentos cujas trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito e que podem compartilhar do mesmo verde. Exemplo típico é o caso de conversão à esquerda em uma avenida de duas mãos de direção, onde o movimento de conversão à esquerda e o movimento oposto compartilham do mesmo verde. Assim, esses movimentos, embora tenham trajetórias que se interceptam, não são necessariamente movimentos conflitantes.

Uma classificação mais adequada é a que podemos encontrar no documento "Glossário dos Termos Empregados na Sinalização Semafórica" do site Sinal de Trânsito [5], conforme transcrito a seguir:

*Movimentos independentes, compatíveis e conflitantes. Ao analisarmos dois movimentos que transitam numa área de conflito, podemos detectar três situações:*

1. *Eles absolutamente não se interceptam.*
2. *Chegam a interceptar-se, mas podem trafegar simultaneamente, pois tal encontro não implica numa situação perigosa.*
3. *Interceptam-se numa situação potencialmente colidente.*

*Quando ocorre a primeira situação, dizemos que se trata de movimentos independentes entre si. Na hipótese da terceira alternativa, damos o nome de movimentos conflitantes. Define-se outra classificação que são os movimentos compatíveis; neste caso, incluímos os que pertencem às duas primeiras alternativas, visto que em ambos os casos os veículos podem trafegar concomitantemente, consideração essencial para a escolha dos grupos de trânsito que serão liberados em cada estágio de um semáforo.*

Uma definição para movimentos compatíveis é:

Dois ou mais movimentos são considerados compatíveis quando eles podem transitar pela interseção, simultaneamente, de forma segura.

Da mesma forma:

Dois ou mais movimentos são considerados incompatíveis quando eles não podem transitar pela interseção, simultaneamente, de forma segura. Neste sentido, movimentos incompatíveis e movimentos conflitantes seriam sinônimos.

A expressão "de forma segura" depende do grau de conflitualidade dos movimentos. Obviamente, para movimentos independentes, o grau de conflitualidade é nulo. Para demais movimentos, o grau de conflitualidade depende das condições de segurança do local, tais como velocidade, visibilidade, respeito à sinalização, respeito à preferência de pedestres etc.

Assim, o verde compartilhado é possível desde que se considere que o movimento veicular de conversão e o movimento de pedestres possam ocorrer concomitantemente de forma segura, em função de um baixo grau de conflitualidade.

## 5. ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES

Sob o prisma de segurança, deve-se separar os movimentos conflitantes no espaço ou no tempo, de forma a eliminar os conflitos. O ideal é sempre procurar separar os movimentos no espaço, de forma que os movimentos possam ocorrer de forma simultânea com grau de conflitualidade nulo. Entretanto, nem sempre isso é possível por falta de espaço e pelo custo de eventuais obras necessárias. Nesse caso, só resta a alternativa de separar os movimentos no tempo.

O estágio exclusivo de pedestres é um caso típico de separação dos movimentos no tempo.

O estágio exclusivo de pedestres é um estágio dentro do ciclo semaforístico em que todos os movimentos veiculares da interseção que conflitam com movimentos de pedestres recebem a indicação vermelha do semáforo, enquanto os movimentos de pedestres recebem a indicação verde, conforme mostra as Figuras 3a e 3b.

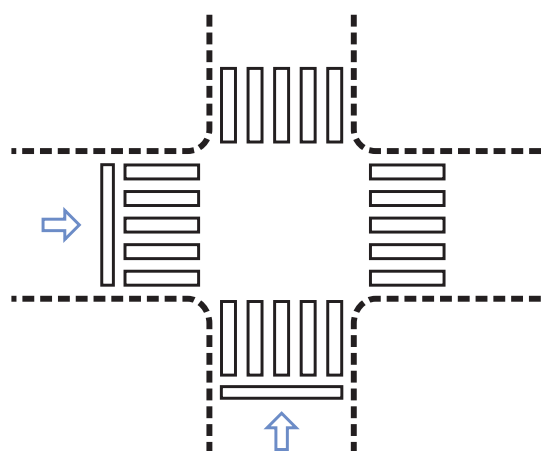


Figura 3a - Exemplo simples de interseção semaforizada de duas vias de mão única



A Figura 3b mostra o diagrama de estágios da interseção da Figura 3a.

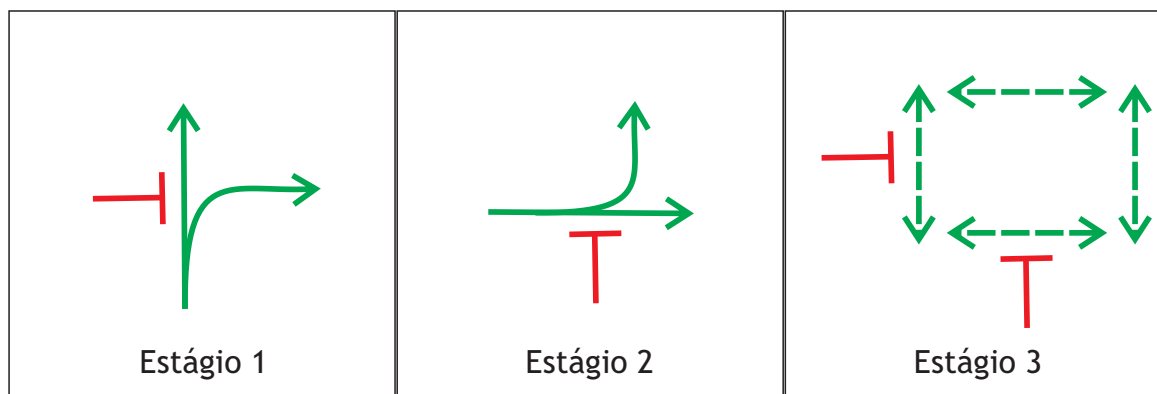


Figura 3b - Diagrama de estágios do exemplo da interseção da Figura 3a, onde o estágio 3 é o estágio exclusivo de pedestres

O estágio exclusivo de pedestres, ao separar os movimentos no tempo, aumenta necessariamente os atrasos e o tempo de espera, pois é necessário dividir o tempo disponível entre os movimentos envolvidos. Adiante, no item 7 deste artigo, será demonstrado que o estágio exclusivo de pedestres aumenta de forma significativa o atraso tanto dos movimentos veiculares como de pedestres, não sendo uma boa solução para os veículos e nem para os pedestres.

Aqui, pode-se suscitar a seguinte questão: se a solução do estágio exclusivo de pedestres não é boa nem para veículos e nem para pedestres, por que ainda é adotada? Na verdade, o dilema do estágio exclusivo de pedestres representa o eterno dilema do Engenheiro de Tráfego entre fluidez e segurança. Se o objetivo for a redução de atraso (tanto de veículos como de pedestres), não deverá ser adotado o estágio exclusivo de pedestres. Se for priorizada a segurança do pedestre, então será adotado o estágio exclusivo de pedestres, mesmo que à custa de aumento de atraso para os próprios pedestres.

O título do documento "*Concurrent vs. Exclusive - The Traffic Engineer's Dilemma with Pedestrian Signal Phasing*" de Massachusetts Department of Transportation [6] ilustra bem o problema enfrentado pelo Engenheiro de Tráfego.

Por outro lado, deve-se ter clareza de que a não adoção do estágio exclusivo de pedestres significa necessariamente que veículos de movimentos em conversão e pedestres vão compartilhar do mesmo espaço ao mesmo tempo, esteja a travessia de pedestres sinalizada com focos de pedestres ou não. Na situação de travessia sinalizada com foco de pedestres é que haverá o compartilhamento de indicação verde para os veículos em movimento de conversão e movimento de pedestres.

Voltando ao dilema fluidez x segurança, deve-se ressaltar que a opção ou não pelo estágio exclusivo de pedestres não pode ser adotada com viés dogmático ou ideológico, do tipo "deve haver prioridade para o pedestre a todo e qualquer custo porque vida não tem preço". A Engenharia praticada sob a influência de dogmas não conduz a resultados sensatos, pois podem estar totalmente viciados e normalmente pecam pelo excesso, seja para um lado, seja para outro. Uma medida de Engenharia está embasada em critérios técnicos e impessoais, enquanto que dogmas são baseados em crenças. Critérios técnicos buscam soluções que visam otimizar os recursos disponíveis em benefício do sistema como um todo e não apenas para uma parte ou segmento do sistema. Deve-se sempre procurar equilíbrio, de forma a obter o máximo benefício possível para todos os usuários, diante dos recursos de tempo e espaço disponíveis.

## 6. PEDESTRIAN SCRAMBLE

Em vários países, nas interseções em que é configurado estágio exclusivo de pedestres implementam-se travessias de pedestres em diagonal, além das travessias normais. Essa configuração com travessias em diagonal é conhecida como "*Pedestrian Scramble*". Na cidade de Nova Iorque, *Pedestrian Scramble* também é conhecido como "*Barnes Dance*"<sup>2</sup>.

A Figura 4a mostra, esquematicamente, uma interseção com estágio exclusivo de pedestres convencional, sem as travessias em diagonal.

<sup>2</sup> A denominação "*Barnes Dance*" foi popularizada na cidade de Nova Iorque por causa do Comissário do DOT *Henry Barnes* em 1962.

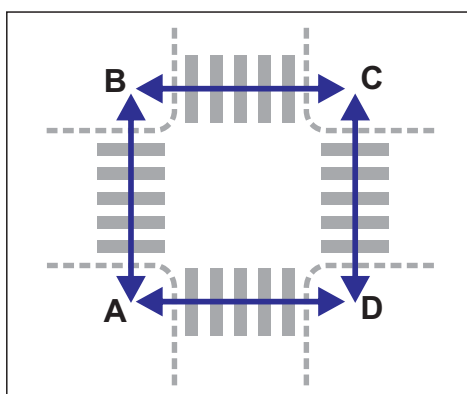


Figura 4a - Representação esquemática de uma interseção com estágio exclusivo de pedestres  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Na Figura 4a, o pedestre que estiver em A e quiser ir para C deve realizar duas travessias: AB e BC ou AD e DC. Provavelmente, esse pedestre (se for respeitar a sinalização) só vai conseguir chegar ao seu destino em dois ciclos.

A Figura 4b mostra, esquematicamente, uma interseção com estágio exclusivo de pedestres, do tipo *Pedestrian Scramble* ou *Barnes Dance*, com travessias em diagonal.

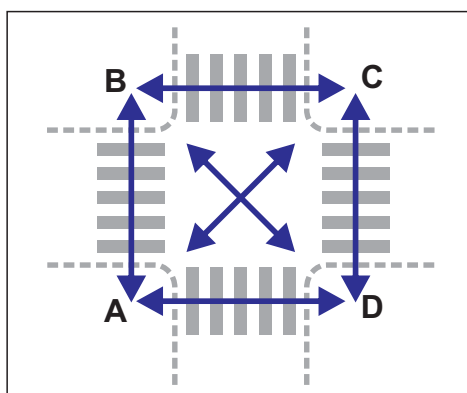


Figura 4b - Representação esquemática de uma interseção do tipo *Pedestrian Scramble*  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Agora, o pedestre que quiser ir de A para C pode fazer a travessia numa única etapa e poderá ser realizada dentro de um único ciclo.

As Figuras 5a e 5b mostram exemplos de *Pedestrian Scramble* na cidade de Nova Iorque.



Figura 5a - Park Row, Broadway, Vesey St. e Ann St.  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]



Figura 5b - Northern Blvd e Broadway  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

A Figura 5c mostra a interseção Av. Ipiranga com a Av. São João na cidade de São Paulo.



Figura 5c - Av. Ipiranga x Av. São João, São Paulo  
 Fonte: Reprodução/TV Globo, 26/01/2015 [7]

Segundo o Relatório *Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT* [1], a implementação das travessias em diagonal apresenta alguns problemas:

- a) Dificuldade para rebaixamento de guia, por causa do raio de curvatura;
- b) Dificuldade para deficientes visuais para a identificação da travessia;
- c) Custo adicional de implantação e manutenção (mais sinalização horizontal, colunas e grupos focais).

As Figuras 6a, 6b e 6c ilustram essas dificuldades.



Figura 6a - Construção de guia rebaixada na curva  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]





Figura 6b - Dificuldade de o deficiente visual identificar qual a travessia  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]



Figura 6c - Maior custo de implantação e manutenção por conta de colunas e grupos focais adicionais  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

## 7. ATRASO VEICULAR ADICIONAL GERADO PELO ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES

O atraso veicular de uma interseção semaforizada varia em função do tempo de ciclo. A Figura 7a mostra um gráfico que representa a variação do atraso com o tempo do ciclo.

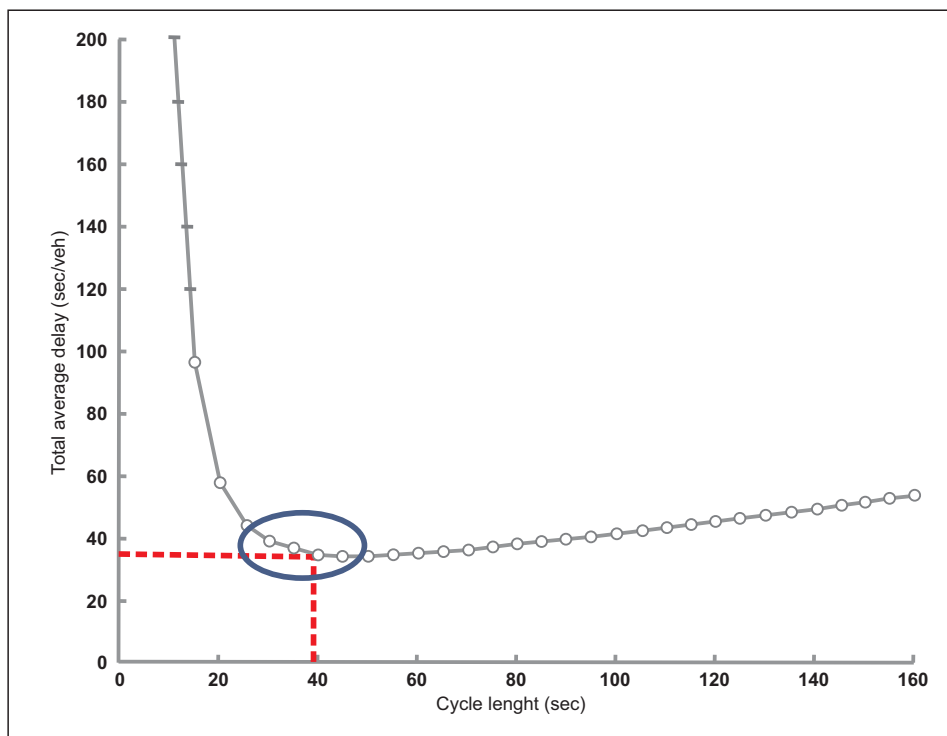


Figura 7a - Variação do atraso em função do tempo de ciclo  
 Figura adaptada de "Estimating the Minimum Delay Optimal Cycle Length Based on a Time-Dependent Delay Formula" [8]

Pode-se ver na Figura 7a que, para ciclos muito pequenos, o atraso é muito grande. O atraso sobe verticalmente conforme o ciclo diminui. Por outro lado, à medida que o ciclo aumenta, o atraso também aumenta gradualmente. Existe uma pequena região (demarcada em azul na Figura 7a) onde o atraso é o menor possível. O ciclo que corresponde ao menor atraso possível é denominado de ciclo ótimo ( $C_{ot}$ ) e corresponde à seguinte expressão, proposta por Webster [9]:

$$C_{ot} = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad (1)$$

Sendo:

$C_{ot}$  = ciclo ótimo

$L$  = tempo perdido (*Lost Time*)

$Y = \sum_{i=1}^n y_i$  = soma de todas as taxas de ocupação

$y_i = q_i/q_{si}$  = taxa de ocupação da aproximação mais crítica<sup>3</sup> do estágio  $i$

$n$  = número de estágios<sup>4</sup>

$q_i$  = fluxo da aproximação mais crítica do estágio  $i$

$q_{si}$  = fluxo de saturação da aproximação mais crítica do estágio  $i$

Na Expressão (1) verifica-se que o ciclo ótimo é função do tempo perdido  $L$ . Quanto maior for  $L$ , maior será o ciclo ótimo  $C_{ot}$ .

A Figura 7b mostra a influência do tempo perdido  $L$  no atraso.

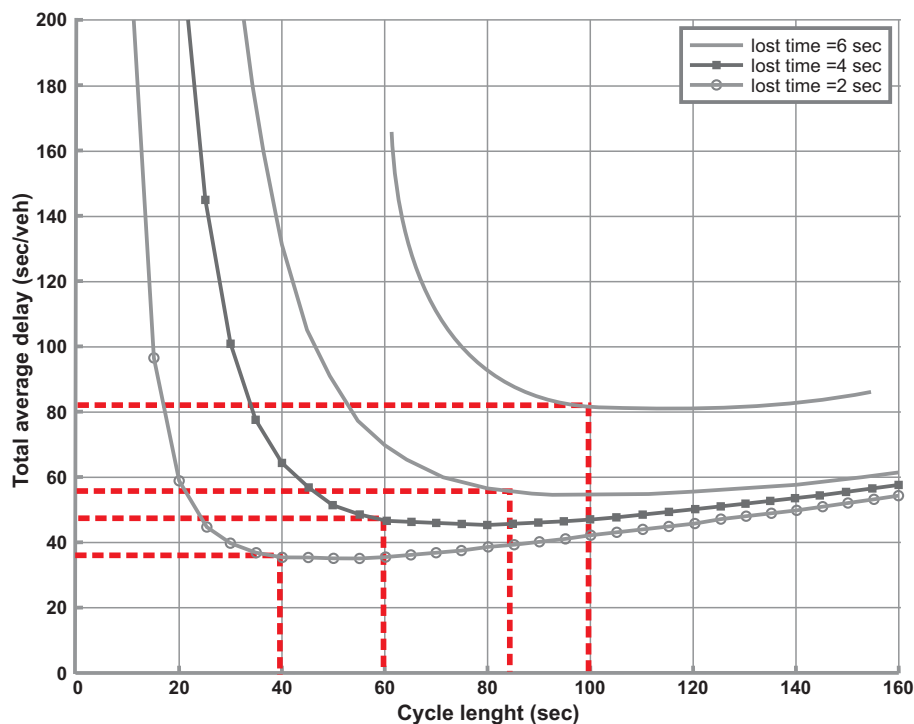


Figura 7b - Variação do ciclo ótimo em função do tempo perdido

Figura adaptada de "Estimating the Minimum Delay Optimal Cycle Length Based on a Time-Dependent Delay Formula" [8]

<sup>3</sup> Aproximação mais crítica é aquela que apresenta a maior taxa de ocupação  $y$

<sup>4</sup> Não inclui estágio exclusivo de pedestres.

Pela Figura 7b observa-se que, com o aumento de  $L$ , aumenta-se o ciclo ótimo e, por consequência, aumenta-se o atraso. Portanto, quanto maior for o  $L$ , maior será o atraso.

Aqui pode se questionar qual é a relação de  $L$  com o estágio exclusivo de pedestres? O tempo perdido  $L$  é um período em que não há movimentação de veículos. Em condições normais, o valor de  $L$  é determinado apenas pelos tempos de entreverdes. Quando há um estágio exclusivo de pedestres, o tempo correspondente ao estágio de pedestres deve ser somado ao valor de  $L$  (pois, durante o tempo do estágio exclusivo de pedestres também não há movimento de veículos). O aumento de  $L$  com o estágio exclusivo de pedestres é altamente significativo, como pode se ver no exemplo numérico abaixo (Quadro 1).

### EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 1)

Tomemos como exemplo uma interseção simples: mão única com mão única, como aquela da Figura 3a, cuja soma dos entreverdes seja de 8 segundos. Com um estágio exclusivo de pedestres de apenas 12 segundos, o valor de  $L$  aumenta de 8 para 20 segundos, um aumento de 150%!

Como já foi dito, o aumento de  $L$  implica em um aumento do ciclo ótimo. Tomando o mesmo exemplo numérico anterior, vamos supor que a taxa de ocupação seja  $Y=0,80$ , então:

Sem o estágio exclusivo de pedestres:

$$C_{ot} = (1,5 \times 8 + 5) / (1 - 0,80) = 85 \text{ segundos}$$

Com o estágio exclusivo de pedestres de 12 segundos:

$$C_{ot} = (1,5 \times (8 + 12) + 5) / (1 - 0,80) = 175 \text{ segundos}$$

Portanto, por causa de um estágio exclusivo de pedestres de apenas 12 segundos, o ciclo ótimo passa de 85 para 175 segundos, o que representa um aumento de 105,88%.

Aqui poderia se perguntar: por que não se pode simplesmente somar o tempo do estágio exclusivo de pedestres ao tempo de ciclo? Conforme explicado na Nota Técnica 204/98 [10], não pode ser aplicado o raciocínio simplista de somar o tempo do estágio exclusivo de pedestres ao tempo de ciclo. No exemplo numérico acima (Quadro 1), não se pode simplesmente adotar como ciclo com o estágio exclusivo de pedestres  $85 + 12 = 97$  segundos. Neste caso, além de o tempo de ciclo não ser mais o ciclo ótimo, é reduzida a porcentagem de verde para os movimentos veiculares, o que irá gerar congestionamento.

Outra questão que aqui pode ser levantada é com relação a redes coordenadas de semáforos. A coordenação semaforica exige que os tempos de ciclo de toda a rede sejam iguais. Esse tempo de ciclo (comum a toda a rede) é denominado ciclo da rede. Então, pode-se pensar em adicionar o estágio de pedestres sem alterar o ciclo da rede.

No documento "Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street" [11] é reportada uma experiência em Toronto onde estágios de pedestres foram adicionados sem alteração do tempo de ciclo.

Nessa experiência, foi alocada uma porção do tempo de ciclo exclusivamente para pedestres, reduzindo a proporção do tempo de verde dos movimentos veiculares. A Figura 8 ilustra a alocação da proporção do ciclo para os diferentes usuários na situação sem o estágio de pedestres e na situação com o estágio de pedestres. Na operação sem o estágio de pedestres, os movimentos veiculares recebem 84% de verde. Com o estágio de pedestres, essa porcentagem é reduzida para 55% para poder "encaixar" o estágio de pedestres. Por outro lado, os pedestres recebem 42% do tempo no total (entre verde e vermelho intermitente<sup>5</sup>) na situação sem o estágio de pedestres<sup>6</sup>, enquanto na situação com o estágio de pedestres essa porcentagem aumenta para 58%<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Flashing Don't Walk signal.

<sup>6</sup> Na situação sem o estágio de pedestres, os pedestres recebem a indicação verde concomitante com os movimentos veiculares de conversão (verde compartilhado).

<sup>7</sup> Parte desse tempo é verde compartilhado e parte é verde exclusivo.



Figura 8 - Alocação de tempos no ciclo para os diferentes usuários (veículos e pedestres)  
 [PPP = Pedestrian Priority Phase]  
 Fonte: "Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street" [11]

Nesta experiência de Toronto, o estágio exclusivo de pedestres aumentou significativamente o atraso veicular, da ordem de 40 segundos para 2,5 minutos no pico da tarde (aumento de 275%). Esse resultado foi um dos motivos que levaram o estudo a recomendar a remoção dos estágios exclusivos de pedestres.

A cidade de Nova Iorque também realizou implementação semelhante na interseção 7 Av com W 34 St, conforme as Figuras 9a e 9b (ciclo de 90 segundos).

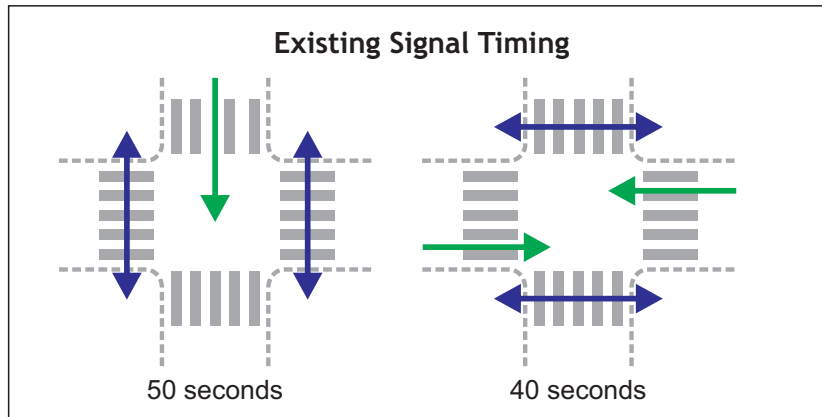


Figura 9a - Distribuição de tempos sem estágio de pedestres na interseção 7 Av com W 34 St  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

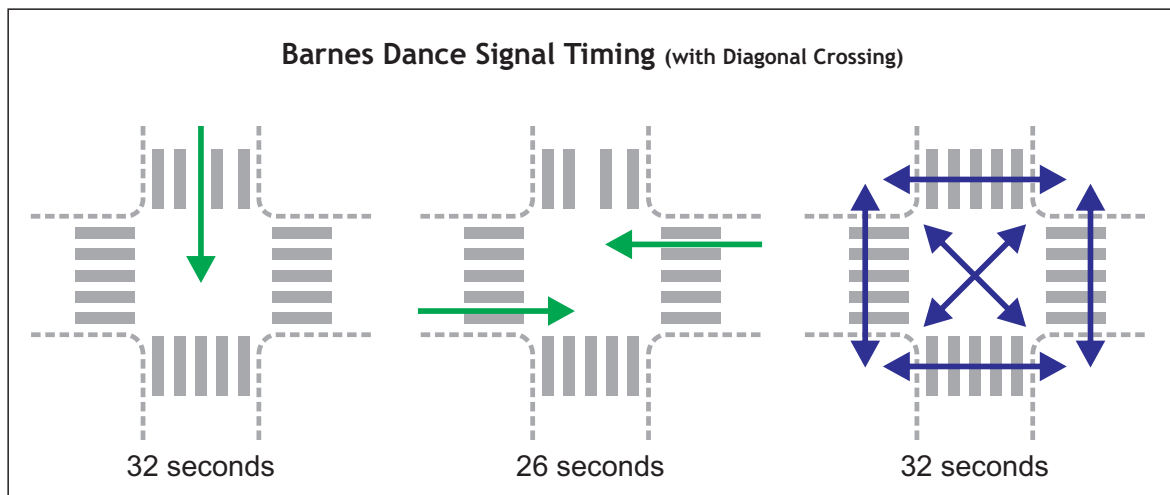


Figura 9b - Distribuição de tempos com estágio de pedestres em 7 Av com W 34 St  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Pode-se observar que, para "encaixar" um estágio de pedestres de 32 segundos em um ciclo de 90 segundos, houve uma redução drástica na proporção de verde dos movimentos veiculares: de 56% (50 segundos) para 36% (32 segundos) e de 44% (40 segundos) para 29% (26 segundos). Com essa redução, o tempo de verde não será suficiente para escoar a fila formada durante o tempo de vermelho, gerando fila residual que irá aumentar de ciclo em ciclo.

O Relatório "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1] mostra um gráfico do aumento do atraso veicular devido ao estágio exclusivo de pedestres verificado em 5 locais de New York City, conforme a Figura 10.

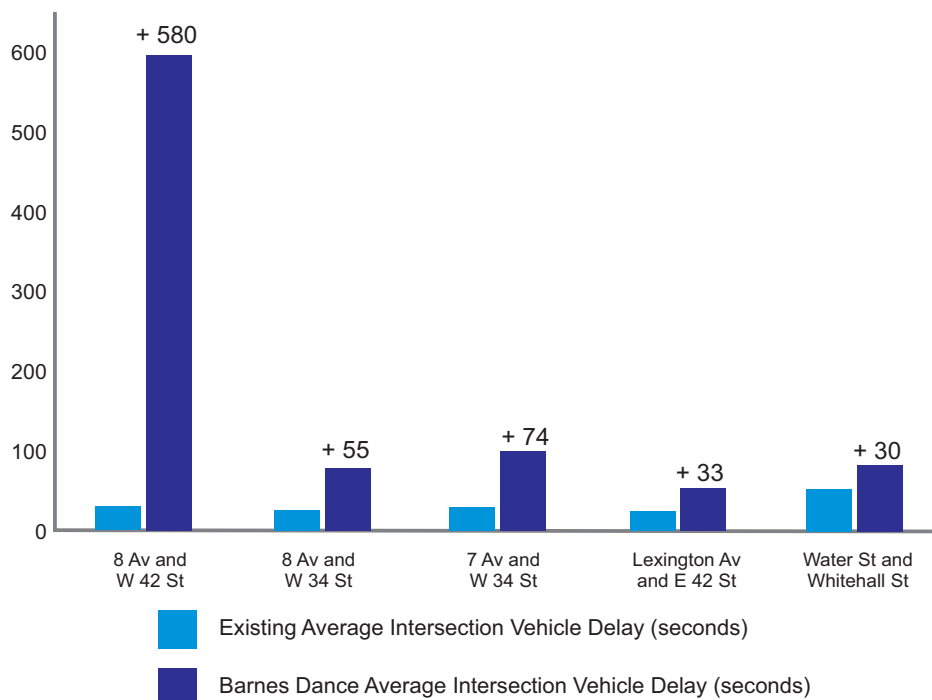


Figura 10 - Aumento do atraso veicular com o estágio exclusivo de pedestres  
 Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

O aumento do atraso veicular com o estágio de pedestres é consequência da redução da proporção de verde para os movimentos veiculares e do fato de o tempo de ciclo não ser o ciclo ótimo.

Vamos agora estimar o atraso veicular no cenário com alteração de ciclo, nas situações sem o estágio de pedestres e com o estágio de pedestres.

Para essa estimativa, vamos aplicar a expressão analítica proposta por Webster, extraída do artigo Webster's Delay Formula - Revisited [12], no exemplo numérico do Quadro 1. A referida expressão fornece o atraso total por veículo de uma interseção de n estágios com controle em tempo fixo em situação de não congestionamento.

$$D(C) = \frac{1}{2Q} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C y_i q_{si} (1 - \lambda_i)^2}{1 - y_i} + \frac{y_i^2}{\lambda_i (\lambda_i - y_i)} \right] \quad (2)$$

Sendo:

C = tempo de ciclo

$\lambda_i = g_i / C =$  proporção de verde do estágio i ( $g_i =$  verde efetivo<sup>8</sup> do estágio i)

$Q = \sum_{i=1}^n q_i =$  soma de todos os fluxos

O primeiro termo da Expressão (2) - dentro do colchete - se refere a atraso uniforme e o segundo termo se refere a atraso aleatório.

<sup>8</sup> Verde efetivo é o tempo efetivamente utilizado pelo tráfego durante o tempo de verde mostrado pelo foco semaforico. É o tempo de verde do foco semaforico menos a perda de tempo no início do verde devido à aceleração dos veículos a partir do repouso mais o ganho de tempo pelo aproveitamento do amarelo. Neste trabalho, será assumido que: tempo de verde do foco = tempo de verde efetivo.



Vejamos agora o aumento do atraso veicular causado pelo estágio de pedestres no caso de alterar o ciclo para o novo ciclo ótimo (considerando o aumento de  $L$ ). Neste caso, a proporção de verde dos movimentos veiculares não é alterada de forma significativa. Já foi visto que, no exemplo numérico do Quadro 1,  $L$  aumenta em 150% e  $C_{ot}$  sofre um aumento de 105,88% com a inclusão de um estágio exclusivo de pedestres de 12 segundos. E quanto aumenta o atraso veicular?

### EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 2)

Vamos admitir os seguintes dados adicionais para o exemplo numérico do Quadro 1:

$$y_1 = y_2 = 0,4$$

$$\lambda_1 = \lambda_2$$

$$q_{s1} = q_{s2} = 0,5$$

$$q_1 = q_2 = 0,5 \times 0,4 = 0,2$$

$$Q = q_1 + q_2 = 0,4$$

- Na situação sem estágio de pedestres

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{85-8}{2 \times 85} = 0,453$$

Aplicando os dados na Expressão (2), resulta, por veículo:

$$D(85) = 75,76 \text{ segundos/veículo}$$

- Na situação com estágio de pedestres

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{175-20}{2 \times 175} = 0,443$$

Aplicando os dados na Expressão (2), resulta, por veículo:

$$D(175) = 132,69 \text{ segundos/veículo}$$

Portanto, nesse exemplo numérico (Quadro 2), o estágio de pedestres provoca um aumento adicional no atraso de 75,76 segundos/veículo para 132,69 segundos/veículo, o que representa um aumento de 75,14% no atraso veicular.

Note que, apesar do aumento de atraso de mais de 75% com a inclusão do estágio de pedestres, a interseção continua operando sem congestionamento.

Entretanto, deve-se ressaltar que, no caso de uma rede semaforica, se for aumentado o ciclo ótimo com a inclusão do estágio de pedestres, o aumento de ciclo numa interseção crítica da rede irá provocar o aumento do ciclo em toda a rede, gerando um aumento de atraso em cadeia em todas as interseções da rede semaforica. No cálculo do exemplo numérico do Quadro 2 não foi considerado o aumento do atraso provocado nas demais interseções da rede semaforica.

A Expressão (2) somente é válida para situações de não congestionamento, onde no denominador do segundo termo do colchete deve-se ter:

$$(\lambda_i - y_i) > 0$$

De fato, essa expressão pode ser reescrita como:

$$\frac{g_i}{C} - \frac{q_i}{q_{si}} > 0$$

Que é equivalente a:

$$q_{si} \frac{g_i}{C} > q_i$$

O termo à esquerda da desigualdade acima representa a capacidade da aproximação, isto é:

$$\text{Capacidade}_i > q_i$$

Logo, para situações de congestionamento (Capacidade < q), a Expressão (2) não é válida.

O que ocorre se, em vez de aumentarmos o ciclo para um novo ciclo ótimo (no exemplo do Quadro 2, de 85 para 175 segundos), aumentássemos o ciclo simplesmente somando o tempo do estágio de pedestres? Isto é, se o ciclo com estágio de pedestres passasse a ser de  $85 + 12 = 97$  segundos?

Para esta situação, tem-se:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{97 - (8 + 12)}{2 \times 97} = \frac{77}{194} = 0,3969$$

Como  $y_1 = y_2 = 0,4$ , tem-se que  $y_i > \lambda_i$  e a interseção operará com congestionamento nas suas duas aproximações.

Da mesma forma, para o cenário de não alteração de ciclo, visando manter inalterado o ciclo da rede, a inclusão do estágio de pedestres provoca uma redução drástica na proporção de verde dos movimentos veiculares, o que irá gerar congestionamentos sistemáticos e recorrentes, afetando as interseções próximas.

Por falta de uma formulação analítica simples para estimar o atraso veicular em casos de congestionamento, deixamos de dar exemplos numéricos de cálculo de atraso veicular para os cenários com congestionamento, principalmente no caso sem alteração de ciclo, como relatado nas experiências de Toronto e Nova Iorque, nas situações sem e com o estágio de pedestres.

Entretanto, as medições efetuadas nas cidades de Toronto e Nova Iorque não deixam dúvidas quanto à gravidade dos congestionamentos provocados quando não se aumenta o ciclo para incluir um estágio de pedestres.

Na Figura 9, pode-se verificar que na interseção 8 Av. and W. 42 St, o atraso aumentou 580 segundos, passando de 20 para 600 segundos, representando um aumento de espantosos 2.900%!!!

Deve-se ter em mente que o atraso dos veículos não prejudica apenas os veículos da interseção onde foi configurado o estágio exclusivo de pedestres, mas pode gerar congestionamentos secundários ("spillover") em cadeia, afetando várias interseções adjacentes. Isso acaba afetando todos os atores que compõem o trânsito de uma grande cidade: ônibus, pedestres, ciclistas etc.

A Figura 11a mostra congestionamentos secundários impactando interseções adjacentes afetando a circulação de pedestres.



Figura 11a - Congestionamentos secundários afetando a circulação de pedestres

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

A Figura 11b mostra o impacto do atraso veicular na circulação dos ônibus.



Figura 11b - Impacto do atraso veicular na circulação de ônibus, com prejuízo a todos os usuários do transporte coletivo  
Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Ainda com relação a redes semaforicas, vale ressaltar outro aspecto, menos importante, mas não menos relevante. Por causa do estágio de pedestres, o ciclo da rede tem que ser mantido maior do que o necessário mesmo em períodos de baixo fluxo veicular e pouca demanda de pedestres. Embora o tempo do estágio de pedestres seja distribuído entre os estágios veiculares quando não há demanda de pedestres, o ciclo da rede é maior do que é necessário, gerando atrasos em toda a rede, atrasos esses que poderiam ser evitados.

Esse problema foi relevante o suficiente para que o TRL (*Transport Research Laboratory*) previsse a necessidade de apresentar uma facilidade que reduzisse o ciclo da rede quando houvesse baixa demanda de pedestres, sendo esta facilidade incorporada na versão MMX do SCOOT (*Split Cycle Offset Optimization Technique*).

Essa facilidade está descrita nos documentos "SCOOT Traffic Handbook - Functional Description - Reduced Cycle Time at Quiet Times - SCOOT 0465 - Issue A - 28-Feb-2011" [13] e "SCOOT User Guide - 666/HF/16940/000 - Issue 34" [14]. O usuário pode configurar o estágio de pedestres como um estágio "fantasma". O SCOOT checa em quantos ciclos houve ocorrência do estágio de pedestres nos últimos  $n$  ciclos. Se não houve ocorrência do estágio de pedestres nos últimos  $n$  ciclos, o SCOOT torna o estágio de pedestres como "fantasma" e o ciclo da rede é recalculado sem o estágio de pedestres. Quando ocorre o estágio fantasma, o ressincronismo da rede pode ser restaurado em até 3 a 4 ciclos. Em situações de baixo fluxo (como madrugada), a necessidade de uma boa defasagem não é tão crítica e o impacto negativo durante os ciclos de ajuste para o ressincronismo pode ser relevado.

O artigo "SCOOT MMX (SCOOT Multi Modal 2010)" [15] reporta uma estimativa do benefício obtido com o uso dessa facilidade na cidade de Londres da ordem de £11.500.000 por ano.

## 8 ATRASO DE PEDESTRES ADICIONAL GERADO PELO ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES

Com relação ao tempo de espera de pedestres, supondo, no exemplo numérico apresentado no Quadro 2, que os pedestres atravessassem apenas no verde, é de se esperar um aumento no tempo de espera de pedestres na situação com estágio de pedestres, pois os pedestres só têm 12 segundos para atravessar a via em um ciclo de 175 segundos. Por outro lado, o percentual de aumento do tempo de espera de pedestres em relação à situação sem estágio de pedestres irá depender do nível de respeito à preferência dos pedestres pelos veículos que fazem a conversão (na situação sem o estágio de pedestres). Isto é:

- Sem estágio de pedestres: o pedestre pode atravessar em qualquer instante do estágio em que andam os movimentos veiculares de conversão e o tempo de espera do pedestre será função do tempo do estágio do movimento veicular direto (supondo que a preferência ao pedestre seja respeitada pelos condutores que fazem a conversão). No caso de não haver respeito à preferência do pedestre, o tempo de espera de

pedestre, além do tempo do estágio do movimento veicular direto, será função também do número de brechas adequadas<sup>9</sup> nos movimentos veiculares de conversão<sup>10</sup>.

- Com estágio de pedestres: o pedestre atravessa apenas no tempo do estágio de pedestres, devendo aguardar durante todo o restante do ciclo.

Quando não se aumenta o tempo de ciclo com a inclusão do estágio de pedestres, é de se esperar que haja uma redução no tempo de espera de pedestre.

A Figura 12 mostra uma comparação do tempo de espera do pedestre na interseção 7 Av com W 34 St em Nova Iorque em uma situação em que se manteve o tempo de ciclo (ciclo de 90 segundos).

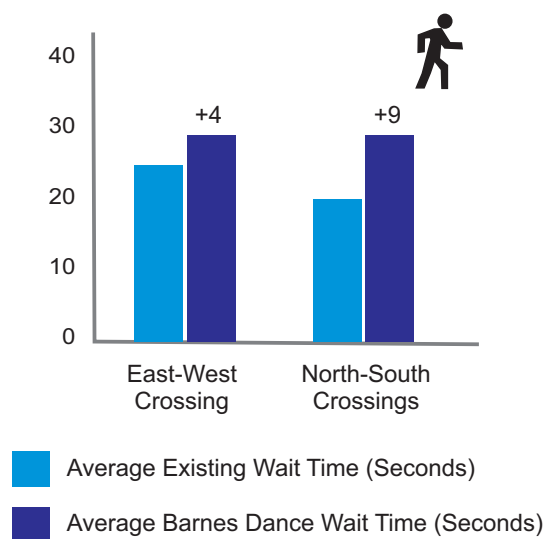


Figura 12 - Tempo de espera de pedestre sem e com estágio de pedestre  
Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

A Figura 12 mostra que, com a inclusão do estágio de pedestres (sem alterar o ciclo), o tempo de espera de pedestre não foi reduzido como esperado, mas foi aumentado em 4 segundos na aproximação *East-West* (passando de 25 para 29 segundos) e em 9 segundos na aproximação *North-South* (passando de 20 para 29 segundos)!

O tempo de espera de pedestres nos diversos cenários pode ser estimado considerando-se algumas hipóteses simplificadoras:

- A chegada de pedestres é uniforme.
- Obediência total do pedestre à indicação semaforica, isto é, o pedestre só inicia a travessia durante a indicação verde.
- Todos os pedestres que chegam durante o período de verde concluem a travessia com tempo de espera nulo.
- Respeito total à preferência do pedestre pelos condutores.

Embora essas hipóteses não sejam realistas, elas permitem obter, de uma forma simples, uma estimativa da ordem de grandeza dos tempos de espera envolvidos. Considerando essas hipóteses simplificadoras, vamos fazer as estimativas, por meio de exemplos numéricos, dos tempos de espera de pedestres em diferentes cenários. Para todos os cenários, a estimativa do tempo de espera será realizada apenas para uma travessia, com fluxo de pedestres  $p$ , em pedestres/segundo.

Na situação sem alteração do tempo de ciclo, as simulações serão feitas, tomando-se como base os dados de Nova Iorque das Figuras 8a e 8b, em 4 cenários, conforme mostrado na Tabela 1.

<sup>9</sup> Entende-se por "brecha adequada" aquela que permita ao pedestre uma travessia segura e confortável.

<sup>10</sup> Na situação de respeito à preferência do pedestre, os veículos que fazem a conversão o fazem nas brechas entre os pedestres. Na situação de não haver respeito à preferência do pedestre, a situação se inverte: os pedestres é que fazem a travessia nas brechas entre os veículos de conversão.

Tabela 1 - Simulação de cenários para a estimativa de tempo de espera de pedestres para a situação sem alteração de ciclo

Ciclo	Estágio de pedestres	Verde compartilhado <sup>11</sup>	Cenário
1 - Sem alteração de ciclo	a) Sem estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	1-a(1)
		(2) Com verde compartilhado	1-a(2)
	b) Com estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	1-b(1)
		(2) Com verde compartilhado	1-b(2)

Não serão feitas estimativas de tempo de espera de pedestre na situação com recálculo do novo ciclo ótimo, usando-se os dados das Figuras 8a e 8b, por resultar em um tempo de ciclo impraticável, conforme mostrado a seguir.

Será tomada como premissa que o ciclo de 90 segundos da Figura 8a seja o ciclo ótimo. A Expressão (1) pode ser reescrita como:

$$Y = 1 - \frac{1,5L+5}{C_{ot}} \quad (3)$$

Supondo que a soma dos entreverdes da Figura 8a sejam de  $L=8$  segundos, temos, pela Expressão (3):

$$Y = 1 - \frac{1,5 \times 8 + 5}{90} = 0,81$$

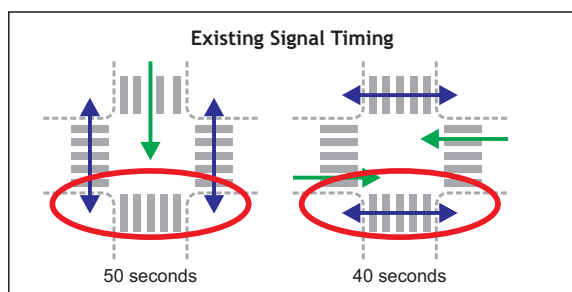
A seguir, será calculado o novo ciclo ótimo com a inclusão de um estágio de pedestres de 32 segundos. Pela Expressão (1), tem-se:

$$C_{ot} = \frac{1,5 \times (32+8) + 5}{1-0,81} = 342 \text{ segundos}$$

O ciclo de 342 segundos é impraticável e não será considerado nos exemplos numéricos.

1 - Comparação do tempo de espera do pedestre nos cenários sem e com estágio de pedestres, nas situações sem e com verde compartilhado no estágio 2, sem alteração do tempo de ciclo.

a) Situação sem estágio de pedestres, sem e com verde compartilhado no Estágio 2 (Figura 9a).



$C=90$   
 $t_1=50$  (duração do Estágio 1)  
 $t_2=40$  (duração do Estágio 2)

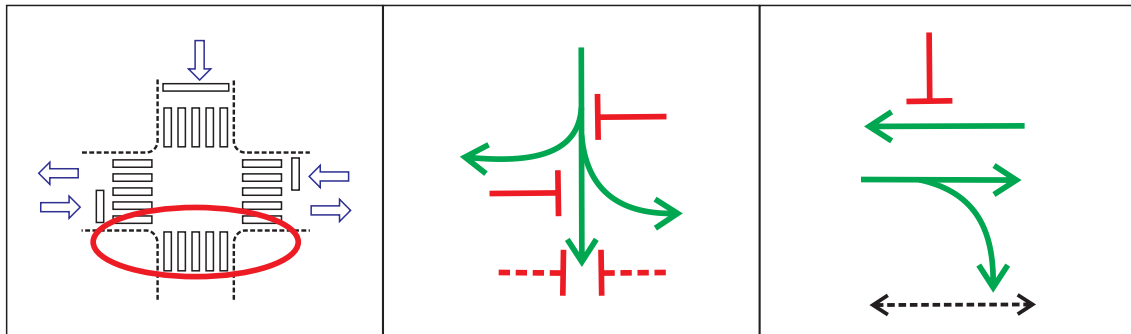
<sup>11</sup> Com verde compartilhado no Estágio 2: existência de focos de pedestres. Sem verde compartilhado no Estágio 2: não há focos de pedestres.

Se não for uma situação de verde compartilhado (como é em São Paulo), não haverá foco de pedestres. Supondo que haja respeito pela preferência ao pedestre pelos condutores que fazem a conversão, os pedestres que chegam durante esse estágio fazem a travessia assim que chegam e o tempo de espera é nulo.



No diagrama de estágios acima, o estágio à esquerda é o Estágio 1 e o da direita o Estágio 2. A travessia considerada para a estimativa do tempo de espera de pedestres está demarcada em vermelho.

a-1) Cenário 1-a(1): Situação sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2.



Na Figura 13, os pedestres que chegam durante o Estágio 1 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera, enquanto os pedestres que chegam durante o Estágio 2 fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera (supondo respeito à preferência do pedestre pelo condutor que faz a conversão).

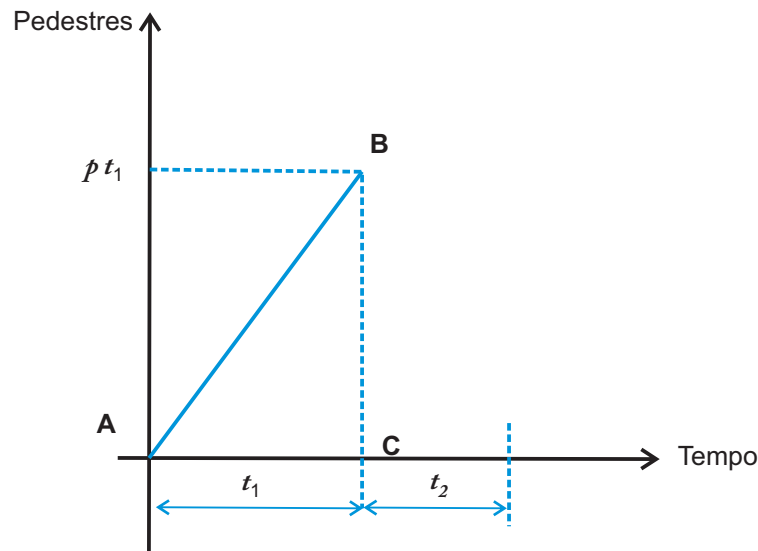


Figura 13 - Gráfico representativo do tempo de espera do movimento de pedestres na travessia considerada na situação sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2

O tempo de espera total dos pedestres pode ser estimado pela área do triângulo ABC:

$$D = \frac{pt_1^2}{2}$$

O tempo de espera médio por pedestre é:

$$D = \frac{t_1^2}{2C} \quad (4)$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 3) - Cenário 1-a(1)**

- Na situação sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2:

$$t_1 = 50$$

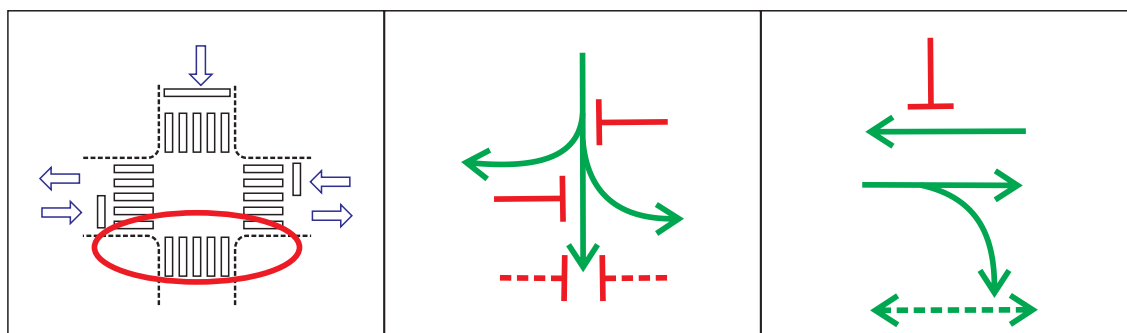
$$t_2 = 40$$

$$C = 90$$

Aplicando os dados na Expressão (4):

$$D(90)_{1-a(1)} = \frac{50^2}{2 \times 90} = 13,89 \text{ segundos/pedestre}$$

- a-2) Cenário 1-a(2): Situação sem estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2.



Na Figura 14, os pedestres que chegam durante o Estágio 1 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera; os pedestres que chegam durante o tempo de verde do Estágio 2 fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera (sempre com a suposição de respeito à preferência ao pedestre pelo condutor do veículo que faz a conversão) e os pedestres que chegam durante o tempo de vermelho intermitente devem aguardar o próximo ciclo.

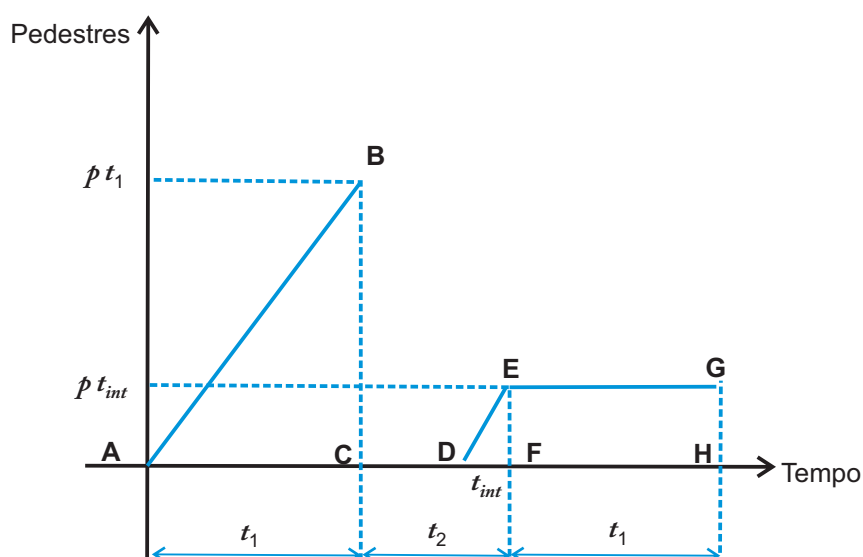


Figura 14 - Gráfico representativo do tempo de espera do movimento de pedestres na travessia considerada na situação sem estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2, sendo  $t_{int}$  o tempo de vermelho intermitente

O tempo de espera total dos pedestres pode ser estimado pela soma das áreas dos triângulos ABC e DEF, mais a área do retângulo EFGH:

$$D = \frac{pt_1^2}{2} + \frac{pt_{int}^2}{2} + pt_{int}t_1$$

O tempo de espera médio por pedestre é:

$$D = \frac{t_1^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}t_1}{C} \quad (5)$$

### EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 4) - Cenário 1-a(2)

- Na situação sem estágio de pedestres, com verde compartilhado no Estágio 2, supondo um tempo de vermelho intermitente de  $t_{int} = 12$  segundos:

$$t_1 = 50$$

$$t_2 = 40$$

$$t_{int} = 12$$

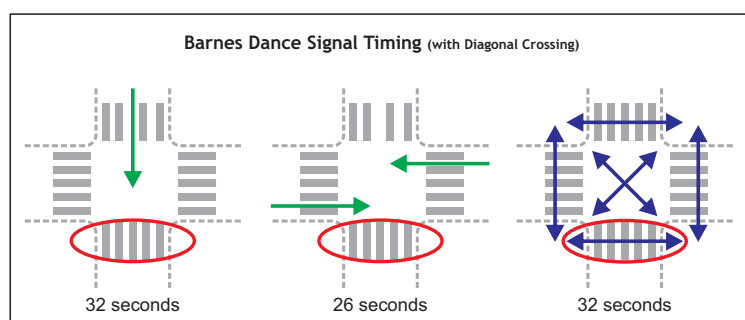
$$C = 90$$

Aplicando os dados na Expressão (5):

$$D(90)_{1-a(2)} = \frac{50^2 + 12^2}{2 \times 90} + \frac{12 \times 50}{90} = \frac{2644}{180} + \frac{600}{90} = 14,69 + 6,67 = 21,36 \text{ segundos/pedestre}$$

Verifica-se, portanto, que, sem estágio de pedestres, a situação sem o verde compartilhado (sem focos de pedestres para o Estágio 2) apresenta um atraso de pedestres um pouco menor do que na situação com verde compartilhado (com focos de pedestres no Estágio 2).

- b) Situação com estágio de pedestres, sem e com verde compartilhado no Estágio 2.



$$C = 90$$

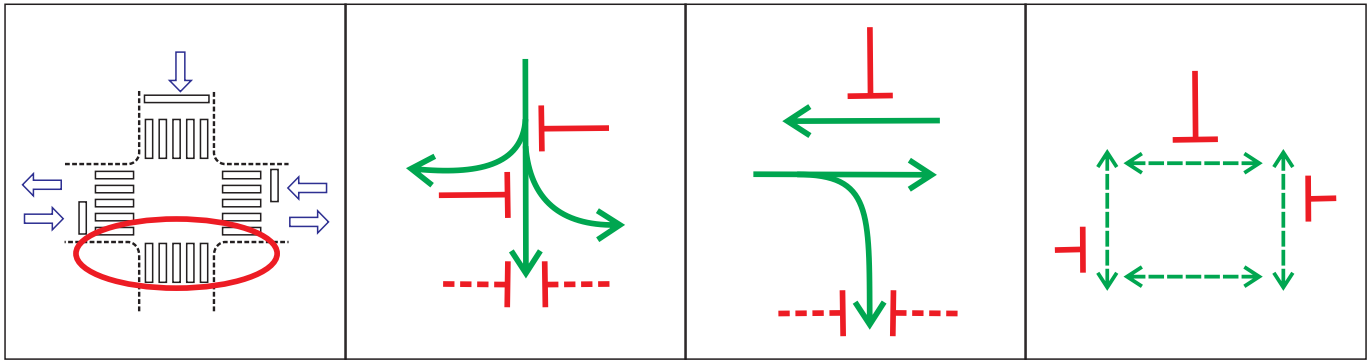
$$t_1 = 32 \text{ (duração do Estágio 1)}$$

$$t_2 = 26 \text{ (duração do Estágio 2)}$$

$$t_3 = 32 \text{ (duração do Estágio 3 - estágio de pedestres)}$$

No diagrama de estágios acima, o estágio à esquerda é o Estágio 1, o do meio é o Estágio 2 e o estágio de pedestres, à direita, é o Estágio 3. A travessia considerada para a estimativa do tempo de espera de pedestres está demarcada em vermelho.

- b-1) Cenário 1-b(1): Situação com estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2.



Na Figura 15, os pedestres que chegam durante o Estágio 1 e Estágio 2 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera, enquanto os pedestres que chegam durante o período de verde de  $t_3$  (estágio de pedestres) fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera. Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  (estágio de pedestres) precisam aguardar até o início de verde de  $t_3$  do próximo ciclo.

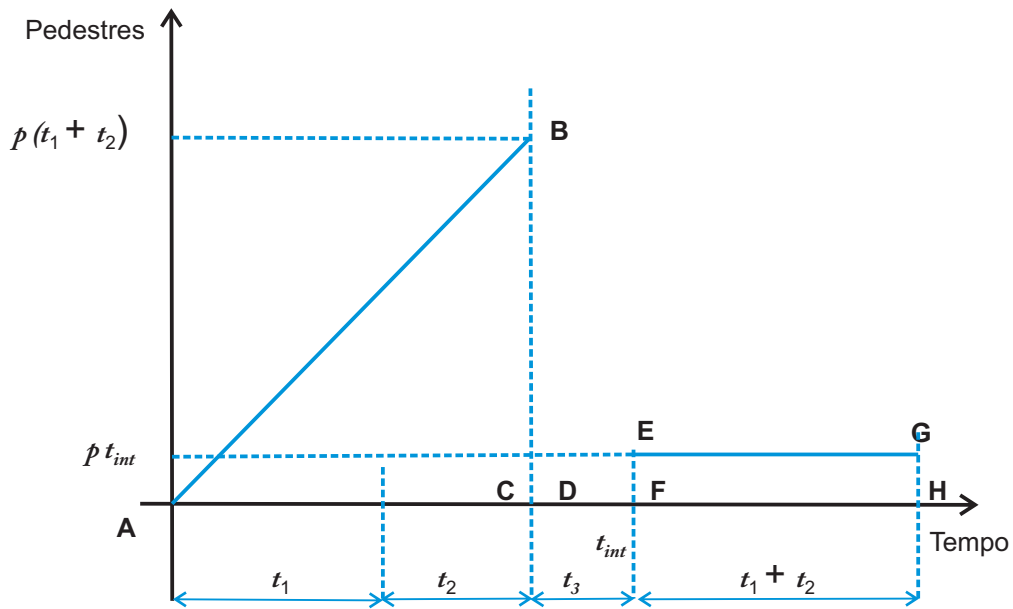


Figura 15 - Gráfico representativo do tempo de espera do movimento de pedestres na travessia considerada na situação com estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2

O tempo de espera total dos pedestres pode ser estimado pela soma das áreas dos triângulos ABC e DEF, mais a área do retângulo EFGH:

$$D = \frac{p(t_1+t_2)^2 + pt_{int}^2}{2} + pt_{int}(t_1 + t_2)$$

O tempo de espera médio por pedestre é:

$$D = \frac{(t_1+t_2)^2 + t_{int}^2}{2c} + \frac{t_{int}(t_1+t_2)}{c} \quad (6)$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 5) - Cenário 1-b(1)**

- Na situação com estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2, supondo um tempo de vermelho intermitente de  $t_{int} = 12$  segundos:

$$t_1 = 32$$

$$t_2 = 26$$

$$t_3 = 32 \text{ (estágio de pedestres)}$$

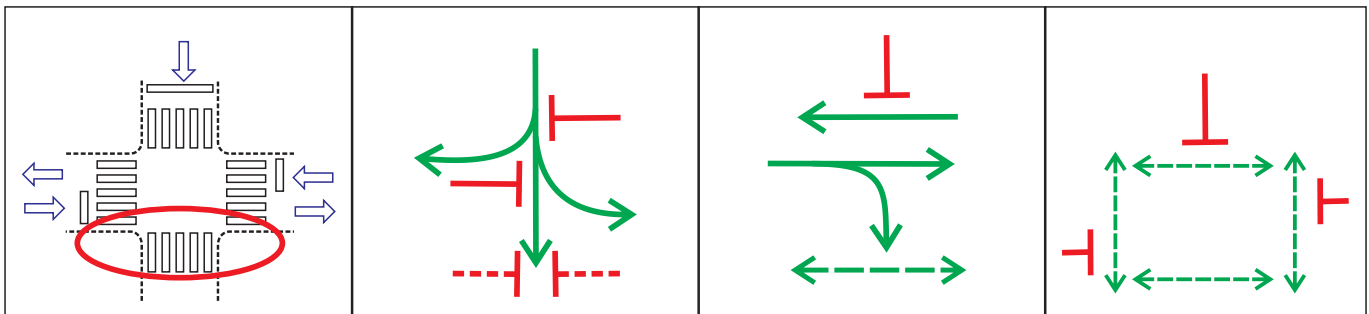
$$t_{int} = 12$$

$$C = 90$$

Aplicando os dados na Expressão (6):

$$D(90)_{1-b(1)} = \frac{(32+26)^2 + 12^2}{2 \times 90} + \frac{12(32+26)}{90} = \frac{3508}{180} + \frac{696}{90} = 19,49 + 7,73 = 27,22 \text{ segundos/pedestre}$$

b-2) Cenário 1-b(2): Situação com estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2.



Neste cenário, os pedestres que chegam durante o Estágio 1 devem esperar pela abertura do verde que ocorre no Estágio 2 (verde compartilhado). Supondo respeito à preferência ao pedestre pelos veículos que fazem a conversão, os pedestres que chegaram durante o Estágio 1 fazem a travessia durante o Estágio 2, assim como os pedestres que chegaram durante esse estágio e durante o tempo de verde de  $t_3$ . Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  devem esperar até o início de verde de  $t_2$  do próximo ciclo.

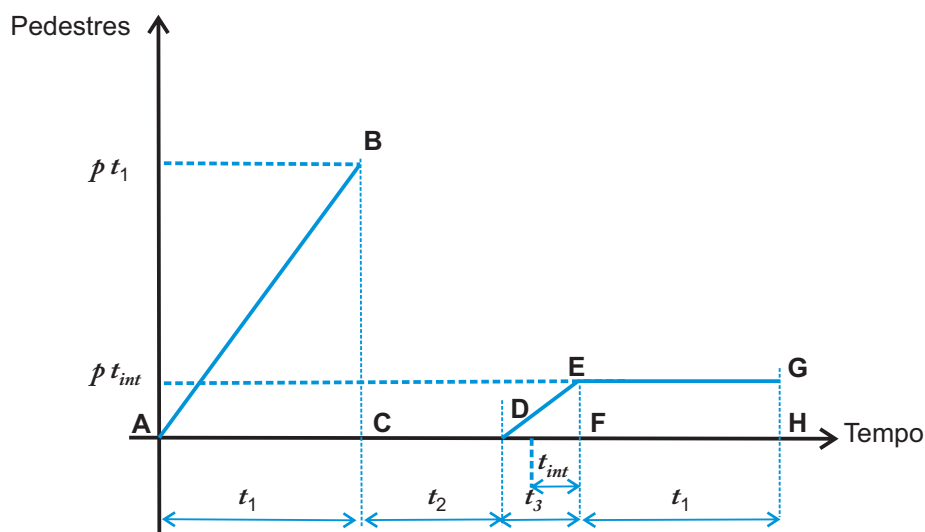


Figura 16 - Gráfico representativo do tempo de espera do movimento de pedestres na travessia considerada na situação com estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2



Então, o tempo de espera de pedestres pode ser estimado pela soma das áreas dos triângulos ABC e DEF, mais a área do retângulo EFGH. Dessa forma, a expressão para calcular o tempo de espera nesta situação é a mesma da Expressão (5):

$$D = \frac{t_1^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}t_1}{C}$$

### EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 6) - Cenário 1-b(2)

- Na situação com estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2

$$t_1=32$$

$$t_2=26$$

$$t_3=32 \text{ (estágio de pedestres)}$$

$$t_{int}=12$$

$$C=90$$

Aplicando os dados na Expressão (5):

$$D(90)_{1-b(2)} = \frac{32^2+12^2}{2 \times 90} + \frac{12 \times 32}{90} = \frac{1168}{180} + \frac{384}{90} = 6,49 + 4,27 = 10,76 \text{ segundos/pedestre}$$

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos.

Tabela 2 - Resultados obtidos para a estimativa de tempos de espera de pedestres para a situação sem alteração do tempo de ciclo, usando-se os dados das Figuras 9a e 9b.

Ciclo	Estágio de pedestres	Verde compartilhado	Cenário	Quadro	Tempo de espera de pedestre
1 - Sem alteração de ciclo	a) Sem estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	1-a(1)	3	13,89
		(2) Com verde compartilhado	1-a(2)	4	21,36
	b) Com estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	1-b(1)	5	27,22
		(2) Com verde compartilhado	1-b(2)	6	10,76

Portanto, sem alterar o tempo de ciclo, os exemplos numéricos dos Quadros 3, 4, 5 e 6 apontaram:

- Na situação sem verde compartilhado no Estágio 2, a inclusão de um estágio de pedestres de 32 segundos provoca um aumento no tempo de espera de pedestre de 13,89 para 27,22 segundos por pedestre, isto é, um aumento de 95,97%. Obviamente, se o estágio de pedestres fosse menor, o tempo de espera seria ainda maior. Quanto maior for o estágio de pedestres, menor será o tempo de espera.

Conclusão: Na situação sem verde compartilhado, a inclusão de estágio de pedestre aumenta o tempo de espera de pedestre.

b) Na situação com verde compartilhado no Estágio 2, a inclusão de um estágio de pedestres de 32 segundos acarreta uma redução do tempo de espera de pedestre de 21,36 para 10,76 segundos por pedestre, isto é, uma redução de 49,63%.

Conclusão: Na situação com verde compartilhado, a inclusão de estágio de pedestres reduz o tempo de espera de pedestres.

c) Na situação sem estágio de pedestres, o verde compartilhado no Estágio 2 provoca um aumento no tempo de espera de 13,89 para 21,36 segundos por pedestre, um aumento de 53,78% em relação à situação sem o verde compartilhado no Estágio 2.

Conclusão: Na situação sem estágio de pedestres, o verde compartilhado aumenta o tempo de espera de pedestres.

d) Na situação com um estágio de pedestres de 32 segundos, o verde compartilhado no Estágio 2 provoca uma redução no tempo de espera de 27,22 para 10,76 segundos por pedestre, uma redução de 60,47% em relação à situação sem o verde compartilhado no Estágio 2.

Conclusão: Na situação com estágio de pedestres, o verde compartilhado reduz o tempo de espera de pedestres.

Para a estimativa de tempo de espera de pedestres na situação com alteração de ciclo, serão adotados os dados dos exemplos numéricos dos Quadros 1 e 2, nas situações de alteração do ciclo para um novo ciclo ótimo e para o aumento do ciclo simplesmente somando-se o tempo de estágio de pedestres.

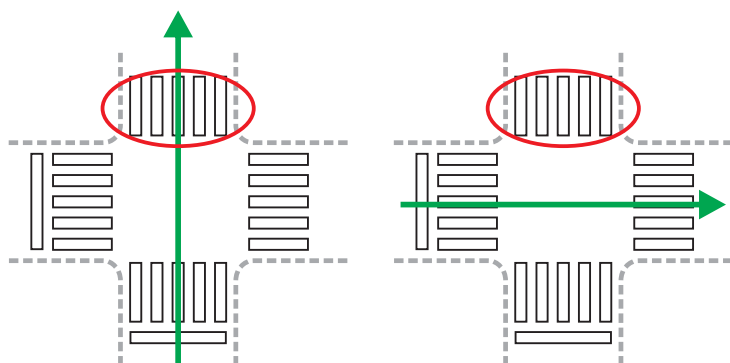
A Tabela 3 apresenta os cenários a serem simulados.

**Tabela 3 - Simulação de cenários para a estimativa de tempo de espera de pedestres para a situação com alteração de ciclo**

Ciclo	Estágio de pedestres	Novo ciclo	Verde compartilhado	Cenário
2 - Com alteração de ciclo	a) Sem estágio de pedestres	-----	(1) Sem verde compartilhado	2-a(1)
			(2) Com verde compartilhado	2-a(2)
	b) Com estágio de pedestres	1 - Novo ciclo ótimo	(1) Sem verde compartilhado	2-b-1(1)
			(2) Com verde compartilhado	2-b-1(2)
		2 - Novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	2-b-2(1)
			(2) Com verde compartilhado	2-b-2(2)

2 - Comparação do tempo de espera do pedestre nos cenários sem e com verde compartilhado no Estágio 2, com alteração do tempo de ciclo (com a inclusão de estágio de pedestres).

a) Situação sem estágio de pedestres, sem e com verde compartilhado no Estágio 2.



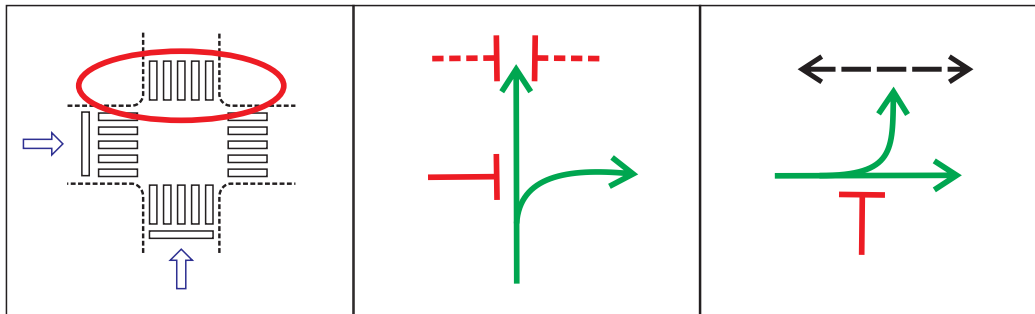
$$C_{ot} = 85$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,453$$

$$t_1 = t_2 = 0,453 \times 85 + 4 = 42,5$$

No diagrama de estágios acima, o estágio à esquerda é o Estágio 1 e o da direita o Estágio 2. A travessia considerada para a estimativa do tempo de espera de pedestres está demarcada em vermelho.

a-1) Cenário 2-a(1): Situação sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2.



Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera, enquanto os pedestres que chegam durante o Estágio 2 fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera. A expressão do atraso de pedestres é a Expressão 4:

$$D = \frac{t_1^2}{2C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 7) - Cenário 2-a(1)**

- Na situação sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2:

$$C_{ot} = 85$$

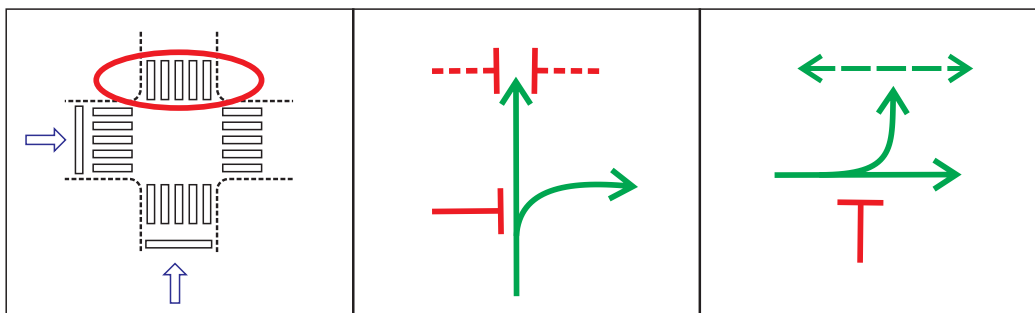
$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,453$$

$$t_1 = t_2 = 0,453 \times 85 + 4 = 42,5$$

Aplicando os dados na Expressão (4):

$$D(85)_{2-a(1)} = \frac{42,5^2}{2 \times 85} = 10,63 \text{ segundos/pedestre}$$

a-2) Cenário 2-a(2): Situação sem estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2.



Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 devem esperar pela abertura do verde que ocorre no Estágio 2 (verde compartilhado). Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 fazem a travessia durante o Estágio 2, assim como os pedestres que chegam durante esse estágio. Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente devem esperar até o início de verde no próximo ciclo. A expressão para calcular o tempo de espera nesta situação é a mesma da Expressão (5):

$$D = \frac{t_1^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}t_1}{C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 8) - Cenário 2-a(2)**

Na situação sem estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2, considerando um tempo de vermelho intermitente de 8 segundos:

$$C_{ot} = 85$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,453$$

$$t_1 = t_2 = 0,453 \times 85 + 4 = 42,5$$

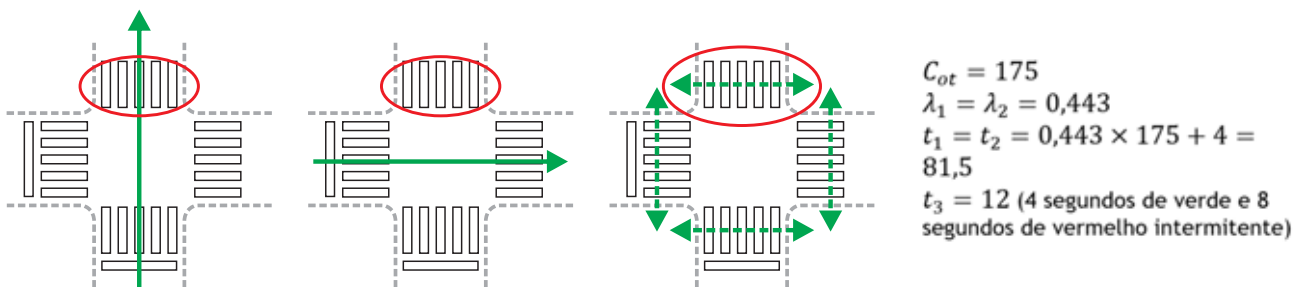
$$t_{int} = 8$$

Aplicando os dados na Expressão (5):

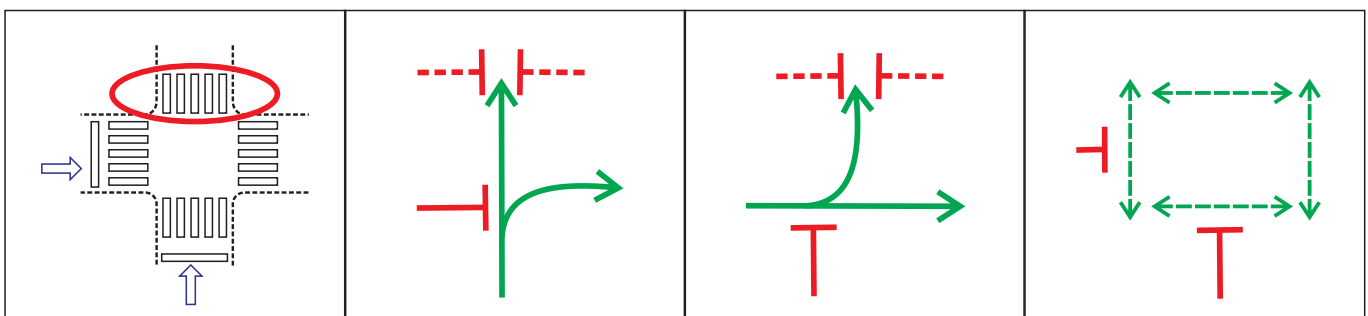
$$D(85)_{2-a(2)} = \frac{42,5^2 + 8^2}{2 \times 85} + \frac{8 \times 42,5}{85} = \frac{1806,25 + 64}{170} + \frac{340}{85} = 11,00 + 4 = 15,00 \text{ segundos/pedestre}$$

b) Situação com estágio de pedestres, sem e com verde compartilhado no Estágio 2, e com novo ciclo ótimo.

b-1) Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo ótimo, sem e com verde compartilhado no Estágio 2.



b-1-1) Cenário 2-b-1(1): Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo ótimo e sem verde compartilhado no Estágio 2.



Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 e Estágio 2 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera, enquanto os pedestres que chegam durante o período de verde de  $t_3$  (estágio de pedestres) fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera. Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  (estágio de pedestres) precisam aguardar até o início de verde de  $t_3$  do próximo ciclo. A expressão que calcula o atraso de pedestres é a Expressão 6:

$$D = \frac{(t_1 + t_2)^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}(t_1 + t_2)}{C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 9) - Cenário 2-b-1(1)**

- Na situação com estágio de pedestres, com novo ciclo ótimo e sem verde compartilhado no Estágio 2:

$$C_{ot} = 175$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,443$$

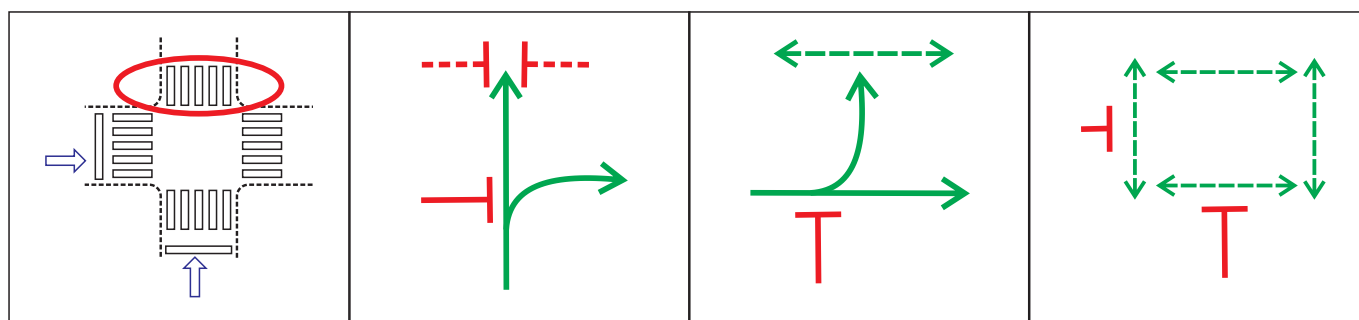
$$t_1 = t_2 = 0,443 \times 175 + 4 = 81,5$$

$$t_3 = 12 \text{ (4 segundos de verde e 8 segundos de vermelho intermitente)}$$

Aplicando os dados na Expressão (6):

$$D(175)_{2-b-1(1)} = \frac{(81,5+81,5)^2+8^2}{2 \times 175} + \frac{8(81,5+81,5)}{175} = \frac{26569+64}{350} + \frac{1304}{175} = 76,09 + 7,45 = 83,54 \text{ segundos/pedestre}$$

b-1-2) Cenário 2-b-1(2): Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo ótimo e com verde compartilhado no Estágio 2.



Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 devem esperar pela abertura do verde que ocorre no Estágio 2 (verde compartilhado). Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 fazem a travessia durante o Estágio 2, assim como os pedestres que chegam durante esse estágio e durante o tempo de verde de  $t_3$ . Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  devem esperar até o início de verde de  $t_2$  do próximo ciclo. A expressão para calcular o tempo de espera nesta situação é a Expressão (5):

$$D = \frac{t_1^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}t_1}{C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 10) - Cenário 2-b-1(2)**

- Na situação com estágio de pedestres, com novo ciclo ótimo e com verde compartilhado no Estágio 2

$$C_{ot} = 175$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,443$$

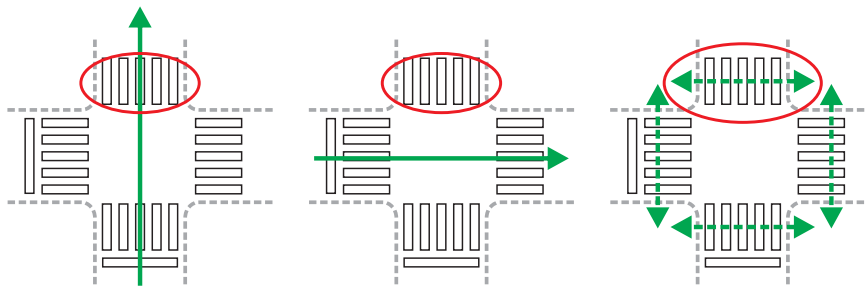
$$t_1 = t_2 = 0,443 \times 175 + 4 = 81,5$$

$$t_3 = 12 \text{ (4 segundos de verde e 8 segundos de vermelho intermitente)}$$

Aplicando os dados na Expressão (5):

$$D(175)_{2-b-1(2)} = \frac{81,5^2+8^2}{2 \times 175} + \frac{8 \times 81,5}{175} = \frac{6642,25+64}{350} + \frac{652}{175} = 19,16 + 3,73 = 22,89 \text{ segundos/pedestre}$$

b-2) Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres, sem e com verde compartilhado no Estágio 2.



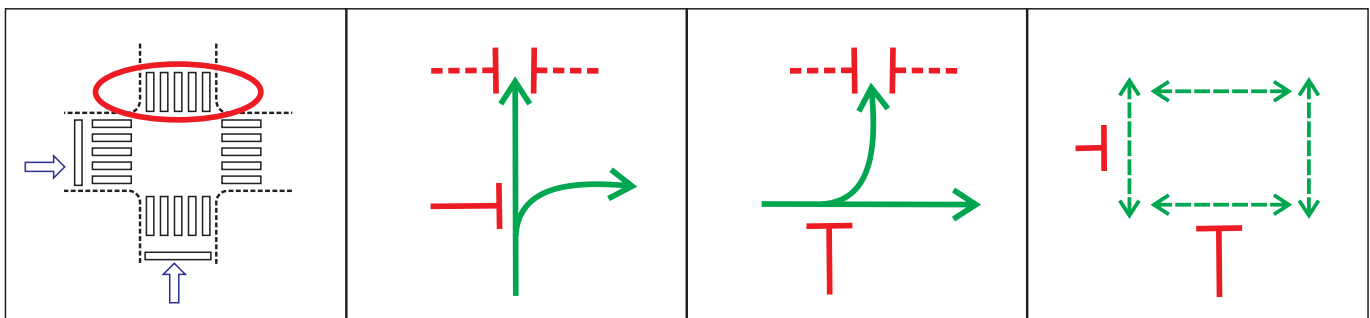
$$C = 85 + 12 = 97$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{97-20}{2 \times 97} = 0,3969$$

$$t_1 = t_2 = 0,3969 \times 97 + 4 = 42,5$$

$$t_3 = 12$$

b-2-1) Cenário 2-b-2(1): Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres, sem verde compartilhado no Estágio 2.



Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 e Estágio 2 recebem a indicação vermelha e sofrem um tempo de espera, enquanto os pedestres que chegam durante o período de verde de  $t_3$  (estágio de pedestres) fazem a travessia assim que chegam, sem nenhum tempo de espera. Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  (estágio de pedestres) precisam aguardar até o início de verde de  $t_3$  do próximo ciclo. A expressão que calcula o atraso de pedestres é a Expressão (6):

$$D = \frac{(t_1 + t_2)^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}(t_1 + t_2)}{C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 11) - Cenário 2-b-2(1)**

- Na situação com estágio de pedestres, com novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres e sem verde compartilhado no Estágio 2

$$C = 97$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,3969$$

$$t_1 = t_2 = 0,3969 \times 97 + 4 = 42,5$$

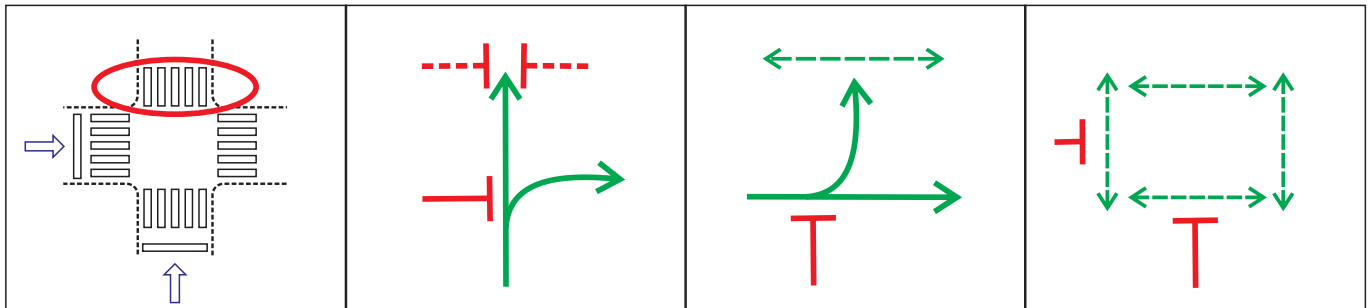
$$t_3 = 12$$

Aplicando os dados na Expressão (6):

$$D(97)_{2-b-1(1)} = \frac{(42,5+42,5)^2+8^2}{2 \times 97} + \frac{8(42,5+42,5)}{97} = \frac{7225+64}{194} + \frac{680}{97} = 37,57 + 7,01 = 44,58 \text{ segundos/pedestre}$$

b-2-2) Cenário 2-b-2(2): Situação com estágio de pedestres, com novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres, com verde compartilhado no Estágio 2.





Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 devem esperar pela abertura do verde que ocorre no Estágio 2 (verde compartilhado). Os pedestres que chegam durante o Estágio 1 fazem a travessia durante o Estágio 2, assim como os pedestres que chegam durante esse estágio e durante o tempo de verde de  $t_3$ . Os pedestres que chegam durante o período de vermelho intermitente de  $t_3$  devem esperar até o início de verde de  $t_2$  do próximo ciclo. A expressão para calcular o tempo de espera nesta situação é a Expressão (5):

$$D = \frac{t_1^2 + t_{int}^2}{2C} + \frac{t_{int}t_1}{C}$$

**EXEMPLO NUMÉRICO (Quadro 12) - Cenário 2-b-2(2)**

- Na situação com estágio de pedestres, com novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres e com verde compartilhado no Estágio 2

$$C = 97$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,3969$$

$$t_1 = t_2 = 0,3969 \times 97 + 4 = 42,5$$

$$t_3 = 12$$

Aplicando os dados na Expressão (5):

$$D(97)_{2-b-2(2)} = \frac{42,5^2 + 8^2}{2 \times 97} + \frac{8 \times 42,5}{97} = \frac{1806,25 + 64}{194} + \frac{340}{97} = 9,64 + 3,51 = 13,15 \text{ segundos/pedestre}$$

A Tabela 4 apresenta os resultados dos cenários simulados.

**Tabela 4 - Resultados da simulação de cenários para a estimativa de tempo de espera de pedestres para a situação com alteração de ciclo**

Ciclo	Estágio de pedestres	Novo ciclo	Verde compartilhado	Cenário	Quadro	Tempo de espera de pedestres (segundos/pedestre)
2 - Com alteração de ciclo	a) Sem estágio de pedestres	---	(1) Sem verde compartilhado	2 - a(1)	7	10,63
			(2) Com verde compartilhado	2 - a(2)	8	15,00
	b) Com estágio de pedestres	1- Novo ciclo ótimo	(1) Sem verde compartilhado	2-b-1(1)	9	83,54
			(2) Com verde compartilhado	2-b-1(2)	10	22,89
		2- Novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres	(1) Sem verde compartilhado	2-b-2(1)	11	44,58
			(2) Com verde compartilhado	2-b-2(2)	12	13,15

Portanto, aumentando o tempo de ciclo para ciclo ótimo, os exemplos numéricos dos Quadros 7 a 12 apontaram que:

- A melhor situação para o pedestre, em termos de tempo de espera, é o cenário sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado (cenário 2-a(1)).
- A pior situação para o pedestre é o cenário 2-b-1(1), com estágio de pedestres com novo ciclo ótimo e sem verde compartilhado, com um aumento de 10,63 para 83,54 segundos/pedestre em relação à situação sem estágio de pedestres, representando um aumento de 686% no tempo de espera!
- Sem estágio de pedestres, o verde compartilhado no Estágio 2 aumenta o tempo de espera de pedestres em relação à situação sem verde compartilhado de 10,63 para 15,00 segundos/pedestre, isto é, um aumento de 41%.
- O compartilhamento do verde reduz o tempo de espera de pedestre apenas com a inclusão de um estágio de pedestres.

No caso de inclusão de estágio de pedestres com o novo ciclo sendo ciclo ótimo há um aparente paradoxo: quanto mais longo for o estágio de pedestres, maior será o tempo de espera de pedestres.

Se o estágio de pedestres causar um tempo de espera excessivamente longo fará com que:

- O pedestre faça a travessia com a indicação vermelha, reduzindo o nível de segurança da interseção e anulando o benefício teórico de maior segurança proporcionado pelo estágio de pedestres devido à eliminação de conflitos com veículos.
- Em locais com grande fluxo de pedestres, haja um acúmulo excessivo de pedestres aguardando na calçada.

A Figura 17 mostra uma situação em que há grande aglomeração de pedestres na calçada aguardando a abertura do semáforo.



7 Av and W 34 St



8 Av and W 42 St

Increased waiting time for pedestrians could worsen existing sidewalk overcrowding

Figura 17 - Aumento do tempo de espera de pedestre gerando acúmulo de pedestres na calçada

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Na Tabela 5, o número de setas indica a gravidade do aumento do atraso veicular e do tempo de espera do pedestre em relação a um cenário de referência.

Tabela 5 - Comparação esquemática do aumento do atraso veicular e do tempo de espera de pedestre em relação a cenários de referência

		Atraso veicular	Espera de pedestre
<b>Sem estágio de pedestres</b>	Sem verde compartilhado no Estágio 2	Referência	↑
	Com verde compartilhado no Estágio 2	↑	↑↑↑
<b>Inclusão do estágio de pedestres Sem alteração do ciclo</b>	Sem verde compartilhado no Estágio 2	↑↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑
	Com verde compartilhado no Estágio 2	↑↑↑↑↑↑↑↑	Referência
<b>Inclusão do estágio de pedestres Com o novo ciclo como ciclo ótimo</b>	Sem verde compartilhado no Estágio 2	↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑
	Com verde compartilhado no Estágio 2	↑↑↑	↑↑↑↑
<b>Inclusão do estágio de pedestres com o novo ciclo somando o tempo do estágio de pedestres</b>	Sem verde compartilhado no Estágio 2	↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑
	Com verde compartilhado no Estágio 2	↑↑↑↑↑↑↑	↑↑

Observação: Na Tabela 5, a indicação de quatro ou mais setas no atraso veicular significa situação de congestionamento.

Da Tabela 5, pode-se observar que a melhor situação, considerando tanto os veículos como pedestres, é aquela sem estágio de pedestres e sem verde compartilhado. Para tanto, é preciso haver o respeito à preferência do pedestre pelos condutores de veículos que fazem a conversão. Se houver esse respeito não há necessidade de compartilhamento de verde e, portanto, não há necessidade de focos de pedestres nas travessias não em carona. Note que, para o compartilhamento de verde, também é indispensável o respeito à preferência do pedestre nas conversões.

Outra conclusão é que o pior cenário para o pedestre é aquele com estágio de pedestres com ciclo ótimo e sem o compartilhamento de verde, justamente a solução praticada na cidade de São Paulo.

### 9. MEDIDAS ALTERNATIVAS ANALISADAS NO ARTIGO "EVALUATION AND CHANGES TO PEDESTRIAN PRIORITY PHASE SIGNAL (SCRAMBLE CROSSING) AT BAY STREET AND BLOOR STREET" [11]

No documento "Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street" [11] é reportada uma comparação entre travessias de pedestres com verde compartilhado com uma situação de verde compartilhado + um período de verde exclusivo para pedestres. Entretanto, como o período de verde exclusivo para pedestres foi "encaixado" no ciclo anteriormente existente, tal medida provocou um drástico aumento do atraso dos movimentos veiculares (devido à redução da proporção de verde dos movimentos veiculares). O aumento do atraso foi de tal ordem que o documento recomendou a remoção do estágio exclusivo de pedestres.

Por outro lado, tendo em vista o aumento significativo do atraso veicular, o Relatório analisou a possibilidade de algumas medidas alternativas para a interseção Bay & Bloor com o objetivo de aliviar os atrasos, mas ainda mantendo algumas características do estágio exclusivo de pedestres. A seguir, segue, em tradução livre, a transcrição da análise de diversas alternativas apresentadas no Relatório mencionado, que é bastante instrutiva.

#### A) Estágio Prioritário para Pedestres do Tipo 1

O Estágio Prioritário para Pedestres do Tipo 1 permite que os pedestres atravessem em todas as direções durante o estágio exclusivo de pedestres. Contudo, os pedestres não podem realizar a travessia junto com os movimentos de conversão. Isso elimina o atraso dos veículos devido à preferência do pedestre diante dos movimentos de conversão.

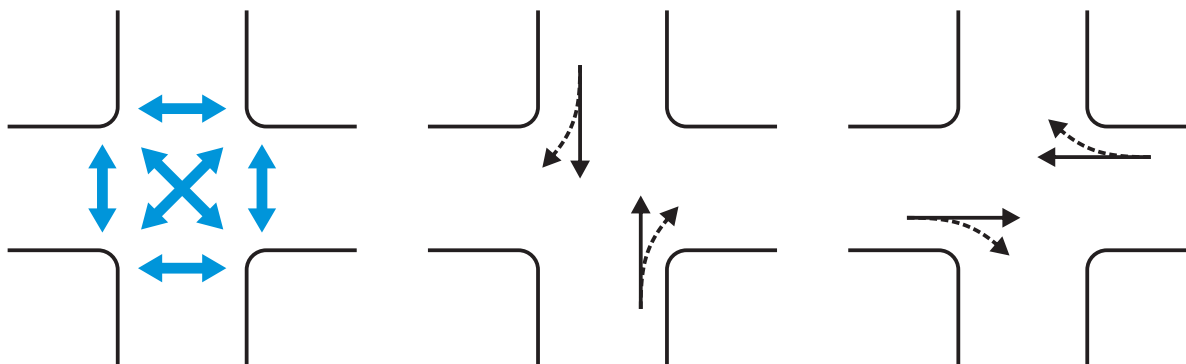


Figura 18 - Estágio Prioritário para Pedestre do Tipo 1

Fonte: "Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street" [11]

Limitar a travessia de pedestres apenas ao estágio exclusivo de pedestres fornece menos tempo de travessia para os pedestres do que com o compartilhamento de verde com os movimentos de conversão, prolongando o tempo de espera de pedestres em até um minuto e 20 segundos e introduzindo problemas de aglomeração nas calçadas. Tempos de espera excessivamente longos não é apenas um inconveniente para os pedestres, mas também uma preocupação de segurança, pois os pedestres ficam impacientes enquanto esperam e têm maior probabilidade de atravessar no sinal vermelho. Estudos deste tipo de operação mostraram que esse impacto negativo supera os benefícios positivos do estágio exclusivo de pedestres.

Além disso, esse modo de operação apresenta desafios para pedestres cegos e com deficiência visual que usam o som de veículos e pedestres em movimento paralelo como uma sugestão para mantê-los na direção certa. A cidade de Calgary recebe inúmeras reclamações da comunidade com deficiência visual sobre os desafios que enfrentam ao usar o Estágio de Prioridade para Pedestres do Tipo 1.

Pelas razões expostas, esta alternativa não é recomendada.

#### B) Ocorrência do Estágio Prioritário para Pedestre do Tipo 1 duas vezes no ciclo

Para resolver os problemas de aglomeração nas calçadas e tempo de espera muito longo decorrente do Estágio Prioritário para Pedestres do Tipo 1, foi investigada a possibilidade de fornecer um Estágio Prioritário para Pedestres no final de cada estágio veicular. Sob esta operação, os pedestres seriam proibidos de atravessar durante os estágios veiculares, mas encontrariam um estágio de pedestres após cada estágio veicular.

Embora essa abordagem possa ser razoável em cruzamentos menores com restrições das conversões - devido ao comprimento diagonal do cruzamento Bay & Bloor, esse modo de operação aumentaria o tempo de ciclo para cerca de 140 segundos. Isso está bem acima da duração do ciclo de outros cruzamentos ao longo da Bloor Street. O tempo de ciclo mais longo causaria atrasos mais significativos nos movimentos veiculares do que aqueles experimentados hoje com a operação atual do Estágio Prioritário para Pedestres. Isso também tornaria a coordenação dos semáforos muito ineficaz. Vale ressaltar que a demanda veicular nas ruas Bloor e Bay não permite estágios veiculares mais curtos do que os verificados atualmente.

Por essas razões, essa alternativa não é recomendada.

### C) Operação do Estágio Prioritário para Pedestre em parte do tempo

Como a demanda de pedestres é alta apenas durante a tarde em Bay & Bloor, foi investigada a opção de operar o Estágio Prioritário para Pedestres apenas durante os horários de pico dos pedestres. Sob essa abordagem, a operação retornaria a uma programação sem um estágio exclusivo de pedestres durante os horários de menor demanda de pedestres.

Um dos desafios dessa alternativa é que o volume de pedestres no cruzamento atinge o pico durante a hora do rush da noite, que é o mesmo horário em que os veículos sofrem os piores atrasos no trânsito. A Figura 9 ilustra a distribuição dos volumes de pedestres e veículos na Bay & Bloor ao longo do dia. Embora os volumes de tráfego de veículos sejam mais ou menos constantes entre as oito e às cinco da tarde, os atrasos da noite são significativamente maiores. Isso está diretamente relacionado ao maior volume de travessias de pedestres no momento e aos conflitos com veículos, o que reduz significativamente a capacidade. Dada a distribuição do volume de pedestres ao longo do dia, uma operação de "meio período" do Estágio Prioritário para pedestres apenas 'desativaria' esse recurso durante a noite. Isso não resolveria as principais preocupações com o atraso veicular no cruzamento durante a hora do rush da noite.

Outra preocupação com essa abordagem são as implicações de segurança de operar o cruzamento de maneira diferente em diferentes momentos do dia. É possível que os pedestres considerem que a travessia na diagonal é uma opção durante os períodos em que o Estágio Prioritário para Pedestres está inativo, levando a possíveis problemas de segurança. A padronização da operação reduz riscos e responsabilidades. Além disso, a proximidade com a operação do Estágio Prioritário para Pedestres em Yonge-Bloor também pode representar um desafio para os usuários se eles não forem programados da mesma maneira.

Por essas razões, essa alternativa não é recomendada.

Figure 9 - Weekday Hourly User Volume Distribution and Vehicular Delay

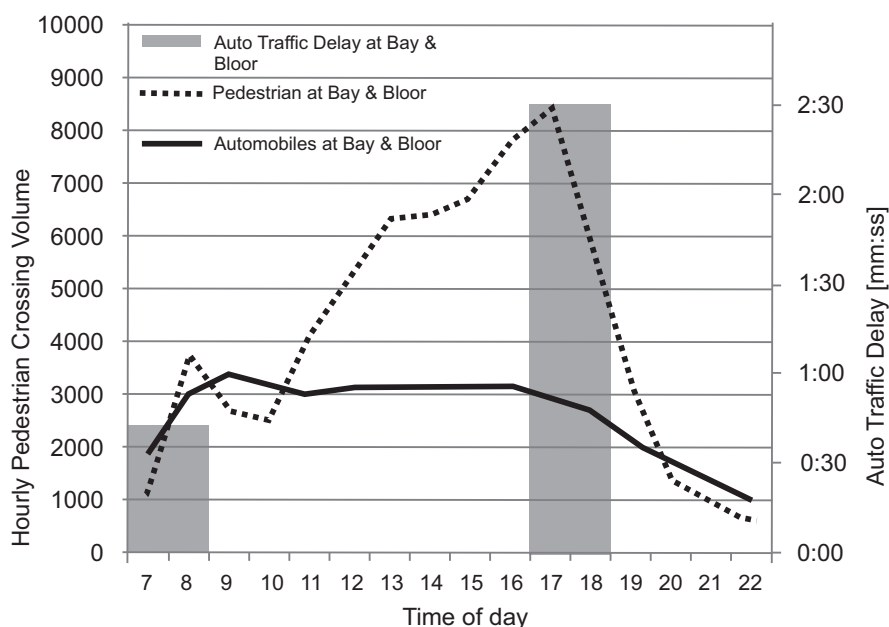


Figura 19 - Figura 9 do Relatório: Volume de pedestres por horário do dia

Figura extraída do documento "Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street" [11]

### D) Estágio para conversão à direita

Observa-se que os veículos que viram à direita sofrem grandes atrasos. O fluxo constante de pedestres faz com que apenas alguns veículos possam completar a conversão à direita durante cada estágio. Como tal, a opção de fornecer um estágio de conversão à direita foi investigada.

Um estágio para conversão à direita requer uma faixa exclusiva para a conversão à direita para separar os veículos que seguem em frente. Sem essa separação, o tempo do estágio para a conversão à direita é subutilizado pela maior proporção de tráfego direto. Criar uma faixa exclusiva para a conversão à direita não é possível neste cruzamento devido a restrições físicas. Além disso, não é recomendável reduzir a capacidade de passagem da interseção convertendo uma faixa só para conversão à direita.

Por essa razão, essa alternativa não é recomendada.

### E) Proibição de todos os movimentos de conversão

Como ilustrado neste relatório, um dos principais problemas desse cruzamento é o atraso sofrido pelos veículos que viram à direita enquanto esperam para encontrar uma brecha no fluxo de pedestres. Existem faixas dedicadas para conversão à esquerda em todas as aproximações do cruzamento na Bay & Bloor e com estágios específicos para alguns movimentos. Esses estágios reduzem o tempo de verde disponível, causando atrasos maiores.

Foi considerada a opção de proibir completamente todos os movimentos de conversão, à esquerda e à direita. As proibições priorizam o tráfego de veículos em frente, em prejuízo aos que querem acessar a área. Houve uma forte falta de apoio a essas proibições, expressa por empresas locais e moradores que temiam que essas restrições reduzissem ainda mais seu nível de acesso.

Por essa razão, essa alternativa não é recomendada.

Como todas as alternativas analisadas não resultaram satisfatórias, o estudo decidiu recomendar a remoção do estágio exclusivo de pedestres.

## 10. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS AO ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES

Algumas medidas podem ser adotadas visando evitar a programação de estágio de pedestres em interseções semaforizadas e, ainda assim, manter a travessia sem conflito com veículos. Essas medidas são:

- Transformar a travessia numa travessia em carona afastada da linha de retenção.
- Recuar a travessia

### 10.1 Travessia em carona afastada da linha de retenção

É possível transformar a travessia numa travessia em carona afastada da linha de retenção, proibindo-se as conversões. Numa travessia em carona, os pedestres ganham o direito de passagem em paralelo a movimentos veiculares não conflitantes. Para maiores detalhes sobre travessias em carona ver o artigo "Um Paradoxo nas Travessias Semaforizadas de Pedestres" [16].

A viabilidade dessa medida depende de haver rotas alternativas às conversões proibidas e/ou de haver uma geometria adequada. No caso de proibição de conversões, a adoção da medida pressupõe o respeito à sinalização de proibição de conversão.

As Figuras 20 a 22 mostram exemplos de travessias em carona afastadas da linha de retenção.

Na Figura 20, o movimento de pedestres  $M_p$  anda junto com os movimentos veiculares  $M_{v1}$  e  $M_{v2}$ .

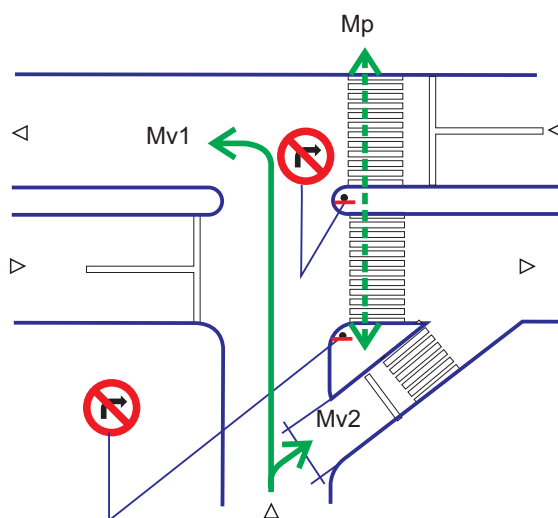


Figura 20 - Travessia em carona, obtida por meio de proibição de conversões



Na Figura 21, os movimentos de pedestres Mp1 e Mp2 andam juntos com o movimento veicular Mv.

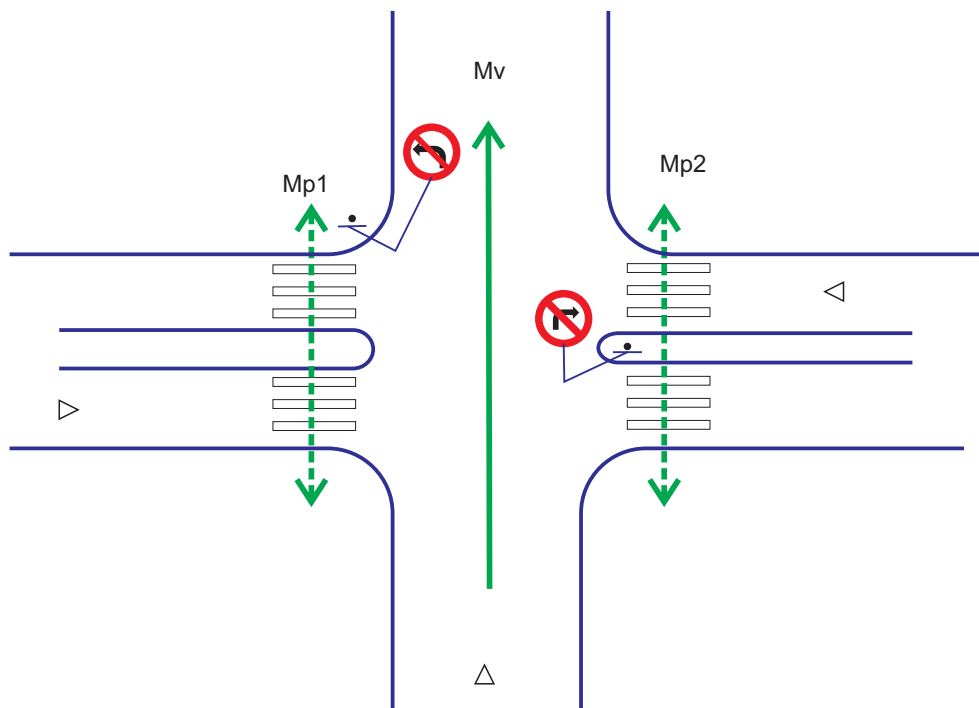


Figura 21 - Travessias em carona, obtidas por meio de proibição de conversões

Na Figura 22, o movimento de pedestres Mp anda junto com os movimentos veiculares Mv1 e Mv2.

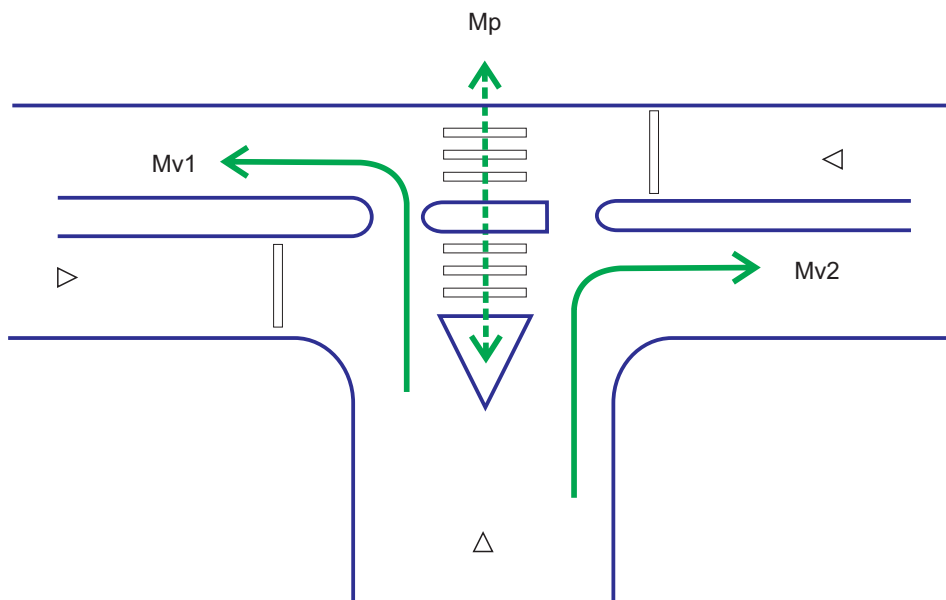


Figura 22 - Travessia em carona, obtida por meio de adequação geométrica

### 10.2 Travessia recuada

É possível recuar a travessia, criando uma caixa para acomodar os veículos que fazem a conversão, fora da área de influência da interseção, como mostra a Figura 23. A principal desvantagem dessa medida é a necessidade de desviar a linha de percurso natural do pedestre.

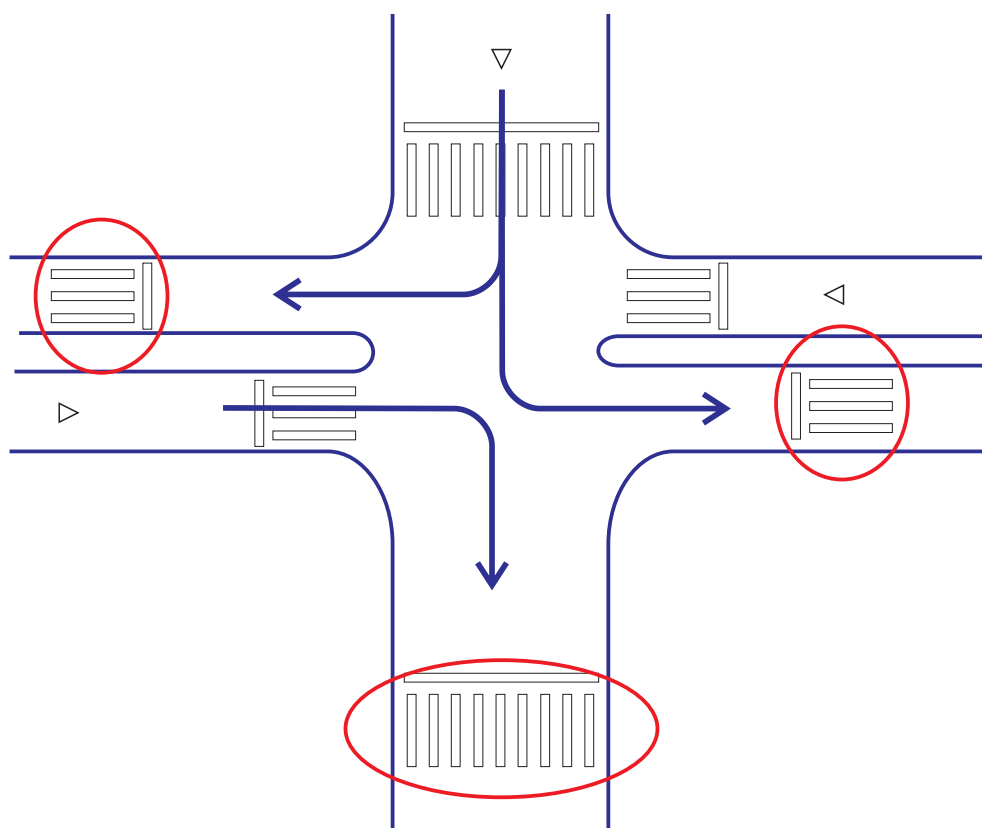


Figura 23 - Exemplo de travessias recuadas

## 11. FERRAMENTAS PARA REDUZIR CONFLITOS EM TRAVESSIAS COM VERDE COMPARTILHADO

A vantagem óbvia do compartilhamento de verde dos movimentos de pedestres com os movimentos veiculares de conversão em relação ao estágio exclusivo de pedestres é a redução do tempo de espera de pedestres, uma vez que eles têm a preferência pela passagem durante a indicação dos dois verdes. Os veículos têm que realizar a manobra da conversão nas brechas do fluxo de pedestres. Apesar dessa preferência, é inevitável que haja algum grau de conflitualidade com os veículos, principalmente em casos de altos volumes de conversão e alto fluxo de pedestres. Para reduzir esse grau de conflitualidade e poder dispensar o uso de estágios exclusivos de pedestres, foram criadas algumas "ferramentas" ou formas de programação semafórica para tratar do problema de travessia de pedestres. Essas ferramentas podem ser encontradas na cidade de Nova Iorque.

### a) *Leading Pedestrian Intervals - LPI*

Trata-se da programação de um período (em torno de 7 segundos) em que só os pedestres têm indicação verde (veículos têm indicação vermelha). É como se fosse um pequeno estágio exclusivo de pedestres. O verde compartilhado começa após o término desse período. Note que esse "pequeno estágio de pedestres" não tem vermelho intermitente de pedestre, pois o verde do pedestre continua no próximo estágio (estágio do verde compartilhado), conforme mostra a Figura 24a.

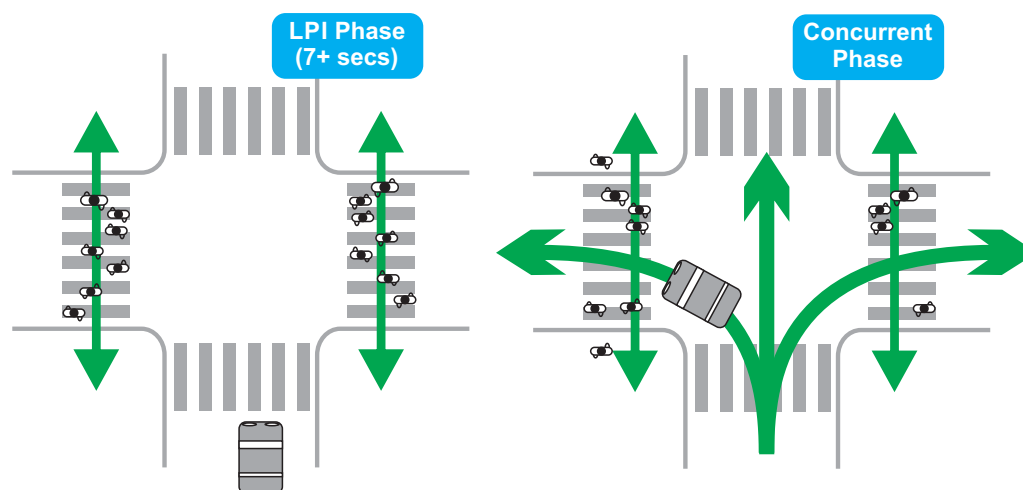


Figura 24a - Desenho esquemático do LPI

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]



Figura 24b - Foto que mostra as indicações luminosas durante o período de LPI

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

O objetivo é permitir que o pelotão inicial de pedestres que estava aguardando o sinal verde na calçada possa realizar a travessia sem nenhum conflito, mesmo porque, durante esse período não vai haver brechas para os veículos que fazem a conversão. Após a passagem desse pelotão inicial, o fluxo de pedestres se reduz ao ritmo dos pedestres que chegam, aumentando as brechas e viabilizando o compartilhamento de verde com os veículos que fazem a conversão.

O LPI permite que os pedestres entrem na via antes do início do movimento veicular de conversão, imponham sua prioridade com a sua presença física na faixa de pedestres e fiquem dentro do campo de visão dos condutores que vão fazer a conversão. Somente após a consolidação desse "status-quo" é que se inicia o período de compartilhamento de verde.

b) *Split-Phase Leading Pedestrian Intervals (Split-LPI)*

Trata-se da programação de um período (em torno de 7 segundos) em que os pedestres têm indicação verde e os veículos que fazem a conversão têm indicação vermelha seta. É quase igual ao LPI, com exceção de que os veículos podem seguir em frente (só os veículos que fazem a conversão recebem a indicação vermelha). O verde compartilhado começa após o término desse período. Note que esse período também não tem vermelho intermitente de pedestre, pois o verde do pedestre continua no próximo estágio (estágio do verde compartilhado). Essa programação depende de faixa específica para a conversão (para não impedir o movimento em frente). A Figura 25a mostra o funcionamento dessa ferramenta.

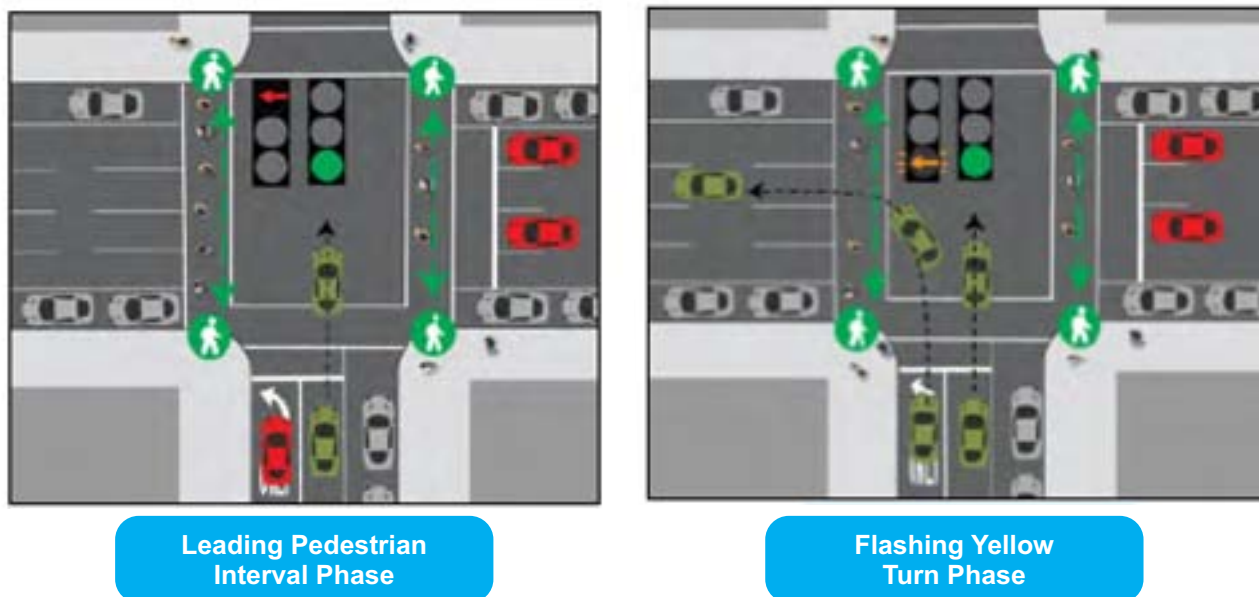


Figura 25a - Desenho esquemático do Split-LPI

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]



Figura 25b - Fotos que mostram as indicações luminosas durante o Split-LPI

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

Pelas Figuras 25a e 25b, percebe-se que no estágio em que os pedestres andam junto com os veículos da conversão, não há indicação verde para esses veículos, havendo um amarelo intermitente com seta (no foco inferior, que seria do foco verde). Assim, não se trata literalmente de um período de "verde compartilhado" (já que os veículos não recebem a indicação verde), apesar de tanto os pedestres como os veículos que convergem terem o direito de passagem.



O objetivo do Split-LPI é o mesmo do LPI, isto é, permitir que o pelotão inicial de pedestres atravesse sem conflito para, só depois, iniciar o estágio de verde compartilhado. A vantagem em relação ao LPI é que o movimento veicular em frente é liberado, diminuindo o atraso veicular. Em contrapartida, precisa haver espaço suficiente na via para demarcar uma faixa específica para a conversão. Além disso, há a necessidade de "desmembrar" o grupo semaforico em dois: um para movimento em frente e outro para o movimento de conversão, o que torna a sinalização semaforica mais complexa.

### c) *Split-Phase*

Trata-se de uma forma de programação em que os pedestres recebem indicação verde enquanto os veículos que querem fazer a conversão são retidos por uma indicação vermelha seta, mas os veículos em frente recebem o direito de passagem. No próximo estágio, os veículos que querem fazer a conversão recebem a indicação verde seta, porém os pedestres recebem a indicação vermelha. Dessa forma, não existe um estágio de verde compartilhado. Deve-se notar que os veículos que fazem a conversão durante o período de verde seta não precisam ceder a passagem para os pedestres, que recebem a indicação vermelha. Esse esquema também requer uma faixa específica para a conversão (para não impedir o movimento em frente). As Figuras 26a e 26b ilustram o funcionamento desse tipo de programação.

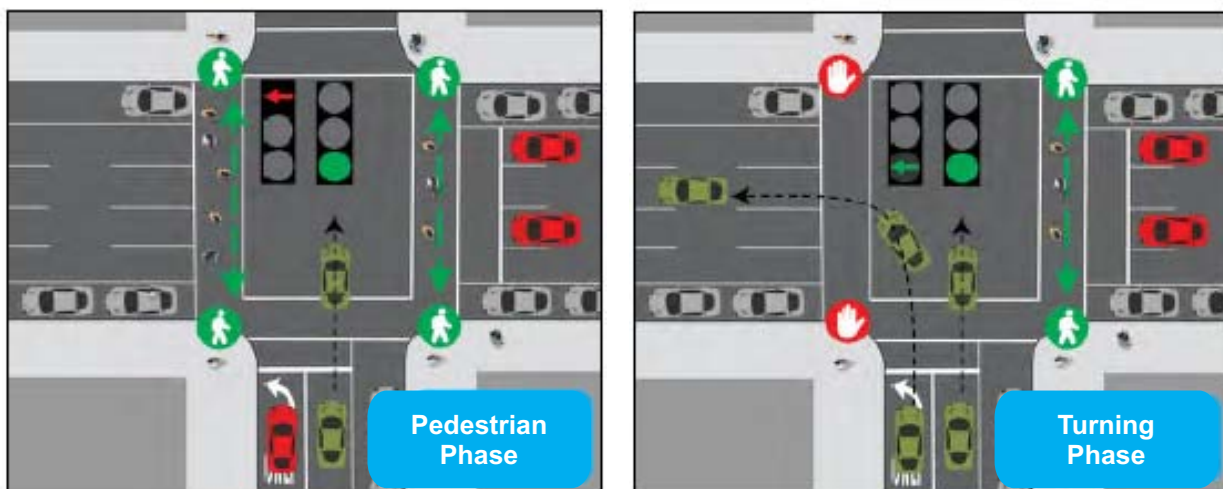


Figura 26a - Desenho esquemático de Split Phase

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]



Figura 26b - Foto que mostra as indicações luminosas durante o período de conversão no Split-Phase

Fonte: "Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT" [1]

A vantagem do *Split-Phase* em relação ao estágio exclusivo de pedestres é que permite o movimento veicular em frente, reduzindo o atraso veicular. Por outro lado, requer espaço para a demarcação de uma faixa específica para a conversão, conforme mostra a Figura 26b. Além disso, há a necessidade de "desmembrar" o grupo semafórico em dois: um para movimento em frente e outro para o movimento de conversão, o que torna a sinalização semafórica mais complexa.

Com essas diversas formas de tratamento do problema de travessia de pedestres, a cor verde do foco veicular ganha **novos significados** para os condutores dos veículos que fazem a conversão:

- a) Foco verde (sem seta): os veículos que fazem a conversão têm que ceder a passagem aos pedestres.
- b) Foco "verde" com seta amarela intermitente: os veículos que fazem a conversão têm que ceder a passagem aos pedestres.
- c) Foco verde com seta: os veículos que fazem a conversão não têm que ceder a passagem aos pedestres (os pedestres recebem a indicação vermelha nesse período).

O foco "verde" com seta amarela intermitente não poderia ser substituído por um foco verde normal, sem seta, pois se trata de um grupo semafórico específico para a conversão (os focos vermelho e amarelo possuem seta). Esse foco não pode ter seta verde pelo motivo exposto abaixo.

O uso de seta amarela intermitente ou a seta verde é uma forma de informar o condutor do veículo que quer fazer a conversão sobre se a manobra será feita precisando dar preferência ao pedestre (seta amarela intermitente) ou se será feita sem precisar dar a preferência ao pedestre (seta verde), pois, neste último caso, os pedestres recebem a indicação vermelha.

A Tabela 6 relaciona o significado da cor verde para os veículos que fazem conversão com as formas de tratamento de pedestres.

**Tabela 6 - Significado da cor verde do foco veicular em relação a pedestres**

Foco veicular	Significado	Indicação para pedestres	Tratamento
<b>Foco verde sem seta</b>	Os veículos que fazem a conversão têm que ceder a passagem aos pedestres.	Verde	Verde compartilhado convencional
			LPI
		Sem indicação (não há focos para pedestres)	Travessia não sinalizada com focos de pedestres
<b>Foco 'verde' com seta amarela intermitente</b>	Os veículos que fazem a conversão têm que ceder a passagem aos pedestres.	Verde	<i>Split-LPI</i>
<b>Foco verde com seta</b>	Os veículos que fazem a conversão não têm que ceder a passagem aos pedestres.	Vermelha	<i>Split-Phase</i>



## 12. BREVE PESQUISA COMPARATIVA NA LITERATURA SOBRE ESTÁGIO EXCLUSIVO DE PEDESTRES E VERDE COMPARTILHADO

Além dos artigos já mencionados, foi feita uma breve pesquisa na literatura sobre o assunto. A seguir, segue um resumo de 4 trabalhos, mostrando as metodologias empregadas e os resultados obtidos.

- ***A Study of Pedestrian Compliance with Traffic Signals for Exclusive and Concurrent Phasing (2017) [17]***

Este artigo descreve uma comparação da obediência de pedestres ao semáforo em dois tipos de tratamento semafórico para pedestres: verde compartilhado, quando os pedestres e os veículos que fazem conversão podem andar juntos, e estágio exclusivo para pedestres. O estágio exclusivo para pedestres é geralmente considerado mais seguro, especialmente por grupos de defesa de idosos e deficientes, embora esses benefícios de segurança dependam da obediência ao sinal do semáforo. O artigo investiga se há ou não diferença na obediência do pedestre nas duas situações. O comportamento dos pedestres foi observado em 42 interseções sinalizadas no centro de Connecticut. Os estudos foram realizados por meio de observações visuais por pouco mais de 216 horas, durante as quais foi observado o comportamento de 14.838 pedestres.

Foram usados modelos de regressão binária para estimar a obediência dos pedestres em função de fatores como volume de veículos e de pedestres, largura da travessia e velocidade dos veículos.

Constatou-se que a obediência é significativamente maior nos cruzamentos com verde compartilhado do que naqueles com estágio exclusivo de pedestres, mas essa diferença não é significativa quando a obediência é avaliada como se houvesse o compartilhamento de verde. Isso sugere que os pedestres tratam interseções com estágio exclusivo de pedestres como se tivessem o verde compartilhado, tornando ilusórios os benefícios de segurança do estágio de pedestres. Não foram observadas diferenças para os pedestres idosos ou não idosos.

Uma preocupação do estudo foi de que os condutores de Connecticut estavam condicionados com os estágios exclusivos de pedestres e, portanto, poderiam não esperar encontrar pedestres na faixa de pedestres ao fazer a conversão. Uma solução para esse problema é o uso de LPI. Em uma configuração como LPI, os pedestres recebem o sinal verde alguns segundos antes de os veículos receberem a luz verde. Isso permite que, quando os veículos iniciarem a manobra de conversão, os pedestres já estejam na faixa de pedestres e dentro do campo de visão dos condutores dos veículos que fazem a conversão.

- ***Safety Effects of Exclusive and Concurrent Signal Phasing for Pedestrian Crossing (2015) [18]***

Este artigo faz uma investigação comparativa entre o verde compartilhado (*concurrent pedestrian phasing*) e o estágio exclusivo de pedestres (*exclusive pedestrian phasing*) em termos de segurança.

O objetivo do artigo é responder à questão: o estágio exclusivo de pedestres dá mais segurança ao pedestre do que o verde compartilhado?

Para responder a essa questão, foram analisadas 42 interseções em 4 cidades de Connecticut com os dois tipos de tratamento, com um total de 152 travessias de pedestres.

Foram coletados os seguintes dados para desenvolver modelos probabilísticos de previsão de conflitos/acidentes com pedestres:

- a) acidentes com pedestres por um período de 6 anos (2008 a 2013)
- b) conflitos entre veículos e pedestres
- c) comportamento dos pedestres
- d) volume de pedestres
- e) características da travessia (distância, com/sem canteiro, estacionamento, calçada, uso de solo, clima)

Para fazer a previsão de conflitos/acidentes, foram desenvolvidos modelos mistos não lineares: LOGIT generalizado, PO (*Proportional Odds*, também conhecido como modelo LOGIT cumulativo) e PPO (*Partial Proportional Odds*).

Os resultados sugeriram que o estágio exclusivo de pedestres só é mais seguro quando os pedestres aguardam o sinal verde. Os autores do trabalho recomendam que o estágio exclusivo de pedestres seja adotado somente nas seguintes condições: vias de alta velocidade, travessias de longa distância e baixo volume de pedestres.

- ***Effect of Pedestrian Signals and Signal Timing on Pedestrian Accidents (1982) [19]***

O objetivo do estudo foi determinar se os acidentes com pedestres são significativamente afetados por diferentes estratégias de programação semaforizada. Dados relacionados a acidentes de pedestres, geometria de interseção, volumes de tráfego e de pedestres foram coletados em 1297 interseções em 15 cidades dos Estados Unidos.

Com base em relatórios de acidentes, todas as informações básicas de cada acidente foram inseridas no banco de dados. Foram incluídos apenas os acidentes que estivessem na área de influência do cruzamento e do semáforo. Por exemplo, acidentes com pedestres na calçada não foram incluídos.

Os dados foram analisados por meio de vários testes estatísticos, tais como análise de correlação, análise de qui-quadrado e análise de variância e covariância. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa nos acidentes de pedestres entre cruzamentos com verde compartilhado em comparação com cruzamentos que não tinham focos semaforizados para pedestres. Além disso, locais com estágio exclusivo de pedestres tiveram menos acidentes com pedestres em cruzamentos com moderado/alto volume de pedestres quando comparado a cruzamentos com verde compartilhado ou sem focos semaforizados para pedestres.

Segundo o artigo, o verde compartilhado é, de longe, a forma de programação mais comumente usada nos Estados Unidos. No entanto, o uso de sinalização com focos semaforizados para pedestres num esquema de verde compartilhado não se mostrou eficaz na redução de acidentes com pedestres. Vários motivos possíveis para sua falta de eficácia na redução de acidentes com pedestres incluem o seguinte:

1. A obediência à sinalização dos focos de pedestres é baixa na maioria das cidades. As violações do sinal vermelho são mais de 50% em muitas cidades. Esse desrespeito é uma das principais razões da ineficácia do verde compartilhado na redução de acidentes com pedestres.
2. A presença de focos semaforizados para pedestres tende a criar uma falsa sensação de segurança e fazer com que muitos pedestres tenham a impressão errada de que estão totalmente protegidos e que não existem motivos para usar cautela. A ausência de focos semaforizados para pedestres em um local semaforizado às vezes dá aos pedestres a sensação de que estão por sua conta, fazendo com que tenham mais cuidado e cautela com os veículos que fazem a conversão.
3. Em outros estudos, o uso do verde intermitente (*Flashing WALK*) demonstrou ser ineficaz em alertar adequadamente os pedestres a prestar atenção nos veículos que faziam a manobra da conversão. De fato, um estudo descobriu que apenas 2,5% dos pedestres entendiam o significado pretendido pela indicação intermitente e pela indicação fixa do sinal *WALK*. Além disso, muitos estados não incorporaram o sinal *WALK* intermitente em suas políticas estaduais, o que causou não uniformidade no uso de mensagens para pedestres nos Estados Unidos.
4. Alguns estudos descobriram que a indicação do vermelho intermitente (*Flashing DON'T WALK*) também não é bem compreendida por muitos pedestres e muitos pedestres acreditam que o tráfego de veículos vai ser liberado durante o período de vermelho intermitente.
5. Os dispositivos de atuação de pedestres (botoeiras de pedestres) são usados com pouca frequência e, portanto, o uso e o respeito pelos sinais de pedestres podem ser reduzidos nesses locais. Um estudo mostrou que eles são usados por menos de 35% dos pedestres.

- ***Safety Effectiveness of Leading Pedestrian Intervals Evaluated by a Before - After Study with Comparison Groups (2010) [20]***

A implementação de *Leading Pedestrian Interval - LPI* tem sido recomendada como uma estratégia para reduzir as colisões entre veículos e pedestres em cruzamentos semaforizados. No entanto, a pesquisa sobre quantificação dos efeitos de segurança do LPI é limitada.

Neste estudo, foram coletados dados tais como características do local, volumes de tráfego, volumes de pedestres e dados de acidentes de 10 cruzamentos semaforizados onde o LPI foi implementado em *State College, Pensilvânia*. Dados semelhantes foram obtidos para 14 interseções com controle de parada (sinalização PARE) na área de *State College* que serviram como grupo de comparação. Um estudo do tipo "antes e depois" com o grupo de comparação foi utilizado para avaliar a eficácia da implementação de LPI.

Foram considerados vários métodos para a avaliação da efetividade do LPI. O método empírico de *Bayes* (EB) foi um candidato natural, porque previne contra as muitas deficiências do método tradicional do tipo "antes-depois" ingênuo. Em particular, o método EB pode "blindar" o resultado obtido contra os efeitos da regressão à média (*Regression to the Mean - RTM*) e contra os efeitos de fatores que podem influenciar o resultado (por exemplo, alterações de volume de tráfego e de outras tendências anuais). O efeito da RTM ocorre quando os locais a serem

tratados são selecionados pelo seu alto histórico de acidentes. Para maiores detalhes sobre o fenômeno da Regressão para a Média ver a Nota Técnica 224 - O Fenômeno para a Regressão para a Média em Estudos Observacionais de Segurança de Tráfego do Tipo "Antes-Depois" [21].

Embora o método EB seja considerado um método rigoroso, algumas limitações podem impedir seu uso na avaliação da eficiência da medida implantada.

Uma desvantagem do método EB é o requisito para grupos de controle, que devem ser semelhantes aos locais tratados, mas sem o tratamento em questão. O requisito para um grupo de controle pode aumentar o custo do estudo devido aos custos associados à coleta de dados adicionais. Em alguns casos, um grupo de controle pode não estar disponível, o que impede o uso do método EB.

Para o estudo em questão, os autores não conseguiram identificar locais para criar um grupo de controle com características semelhantes aos locais tratados (porém sem o tratamento). Então, a opção escolhida foi o método com grupo de comparação. Esse método também previne contra as deficiências do método "antes-depois" ingênuo. O grupo de comparação é essencialmente usado para controlar fatores (além do próprio tratamento) que podem causar uma alteração na segurança quando um tratamento é implementado. A intenção é separar o efeito devido ao tratamento do efeito em função de outros fatores.

O método do grupo de comparação também possui limitações potenciais. Os locais de tratamento e os locais do grupo de comparação devem ter frequências de acidentes semelhantes. Por exemplo, um local de tratamento com 10 acidentes no período "antes" deve corresponder a um local do grupo de comparação que também teve 10 acidentes no mesmo período para poder controlar os efeitos da RTM. Devido à natureza complicada desse processo de "neutralizar" os efeitos da RTM pelo uso do método de grupo de comparação, a abordagem EB é a preferida para situações em que possa haver a influência da RTM.

Nesta avaliação, os locais de tratamento não foram selecionados com base no histórico de acidentes. Em vez disso, a estratégia do LPI foi implementada em todos os cruzamentos sinalizados no centro da cidade. Embora o potencial para RTM ainda exista, não é motivo de preocupação se os locais de tratamento não tiverem sido selecionados com base em altas contagens de acidentes.

Outra limitação do método do grupo de comparação é a necessidade de comparabilidade entre os locais de tratamento e comparação.

Comparabilidade significa que as tendências de acidentes no grupo de comparação são suficientemente semelhantes às do grupo de tratamento nos períodos "antes" e "depois". Em termos simples, se os acidentes aumentarem 5% ao ano no grupo de tratamento no período "antes", o grupo de comparação deve demonstrar um aumento semelhante. A sequência de "*odds ratio*"<sup>12</sup> pode ser calculada a partir de contagens históricas de acidentes para testar a comparabilidade entre os grupos de tratamento e de comparação.

Se a média amostral dos "*odds ratio*" for próxima de 1 e a variação for relativamente pequena, o grupo de comparação será considerado "comparável" ao grupo de tratamento.

Os resultados desse estudo sugerem uma redução de 58,7% nas colisões entre veículos e pedestres nos cruzamentos tratados, o que é estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95%. Também foi realizada uma análise econômica para determinar a relação custo-benefício da estratégia. Dado o baixo custo dessa estratégia, apenas uma redução modesta nos acidentes é suficiente para justificar economicamente o seu uso.

---

<sup>12</sup> A razão de chances ou razão de possibilidades (em inglês: "*odds ratio*") é definida como a razão entre a chance de um evento ocorrer em um grupo e a chance de ocorrer em outro grupo. Uma razão de chances menor do que 1 indica que a probabilidade é menor no primeiro grupo do que no segundo.

## 13. CONCLUSÕES

As conclusões do presente trabalho podem ser resumidas conforme segue.

- a) Foram analisadas três formas para configurar um estágio exclusivo de pedestres: (i) com aumento de ciclo para um novo ciclo ótimo; (ii) com aumento do ciclo simplesmente somando o tempo do estágio de pedestres ao ciclo anterior (sem estágio de pedestres); (iii) sem aumentar o ciclo.
  - As alternativas (ii) e (iii) causam congestionamento.
  - A alternativa (iii) causa um grande aumento no tempo de espera de pedestres.
- b) O estágio exclusivo de pedestres não é uma boa solução para veículos e nem para pedestres.
- c) Operacionalmente, o verde compartilhado é idêntico à travessia não sinalizada com focos semaforicos para pedestres, exceto pelo período de vermelho intermitente. Na situação de verde compartilhado, os pedestres não podem iniciar a travessia no período de vermelho intermitente, enquanto que não existe esse período na situação sem focos de pedestres.
- d) A Tabela 5 mostra um quadro comparativo do atraso veicular e do tempo de espera de pedestres em diferentes cenários.
- e) Pode ser preferível a travessia não sinalizada com focos semaforicos para pedestres do que o verde compartilhado. O artigo "*Effect of Pedestrian Signals and Signal Timing on Pedestrian Accidents (1982)*" [19] reporta que, no cenário de verde compartilhado, o foco de pedestre pode criar uma falsa sensação de segurança e fazer com que muitos pedestres tenham a impressão errada de que estão totalmente protegidos e que não existem motivos para usar cautela. Isso é ainda mais importante se os pedestres estiverem condicionados com estágios exclusivos de pedestres quando a indicação verde significa uma travessia sem conflitos com veículos.
- f) Existem problemas operacionais e de segurança no verde compartilhado. Para contornar esses problemas, foram criadas várias ferramentas: (i) LPI; (ii) Split-LPI; (iii) Split-Phase.
- g) O artigo "*Safety Effects of Exclusive and Concurrent Signal Phasing for Pedestrian Crossing (2015)*" [18] conclui que o estágio exclusivo de pedestres só é mais seguro quando os pedestres aguardam o sinal verde.
- h) O artigo "*A Study of Pedestrian Compliance with Traffic Signals for Exclusive and Concurrent Phasing (2017)*" [17] reporta que a obediência do pedestre é significativamente maior nos cruzamentos com verde compartilhado do que naqueles com estágio exclusivo de pedestres, tornando ilusórios os benefícios de segurança do estágio de pedestres. Isso pode ser explicado pelo fato de que o estágio de pedestres causa um tempo de espera muito grande.
- i) A diferença entre um cenário em que há respeito à preferência do pedestre pelos condutores dos veículos que fazem conversão e outro em que não há é que no primeiro cenário os veículos fazem a manobra de conversão nas brechas do fluxo de pedestres e no segundo cenário os pedestres é que realizam a travessia nas brechas dos veículos que fazem a conversão.
- j) O cenário com verde compartilhado só é possível se houver respeito à preferência do pedestre pelos condutores dos veículos que fazem conversão.
- k) A melhor solução, aquela que apresenta mais benefícios para o sistema como um todo, é o cenário sem estágio de pedestres e travessia não sinalizada com focos de pedestres. É a solução mais simples e menos custosa, mas pressupõe o respeito à preferência do pedestre pelos condutores dos veículos que fazem conversão.
- l) Mesmo no cenário em que haja respeito à preferência do pedestre pelos condutores dos veículos que fazem conversão, haverá casos mais complexos em que a melhor solução é o estágio exclusivo de pedestres. É o caso dos locais com alto volume de conversão e grande fluxo de pedestres. Nesses locais, os veículos que fazem conversão não encontram brechas no fluxo de pedestres, o que irá gerar congestionamentos na interseção.
- m) O verde compartilhado é a solução adequada para situações mais complexas, como, por exemplo:
  - Em locais com travessias muito longas, onde é importante a indicação de vermelho intermitente (para indicar ao pedestre o instante em que não convém mais iniciar a travessia). Neste caso, devem-se colocar focos semaforicos para pedestres, operando no cenário de verde compartilhado.
  - Em locais com alto fluxo de pedestres, onde os veículos não encontram brechas no fluxo de pedestres. Neste caso, para evitar o aumento do atraso veicular e do tempo de espera de pedestres gerado pelo estágio exclusivo de pedestres, podem-se usar soluções intermediárias como o LPI, combinando o estágio exclusivo e o verde compartilhado.

- n) As desvantagens do uso combinado de verde compartilhado e do estágio exclusivo de pedestres são:
- Os veículos que fazem a conversão, ao receber a indicação verde, podem encontrar uma travessia em que precisam ceder passagem ao pedestre em um local (verde compartilhado) e encontrar, em outro local, uma travessia onde não vão encontrar pedestres, pois os mesmos recebem a indicação do sinal vermelho (estágio exclusivo de pedestres).
  - Os pedestres, ao receber a indicação verde, podem, em um período, fazer a travessia com eventuais conflitos com veículos que fazem a conversão (verde compartilhado) e, em outro período, realizar a travessia sem nenhum conflito com veículos (estágio exclusivo de pedestres).

## 14. REFERÊNCIAS

- [1] *Walk This Way - Exclusive Pedestrian Signal Phase Treatments Study - October 2017 - NYC DOT.*  
<https://www1.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/barnes-dance-study-sept2017.pdf>
- [2] Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro - CTB - Resolução CONTRAN Nº 160 de 22/04/2004.
- [3] Código de Trânsito Brasileiro - CTB - Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997.
- [4] Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V - Sinalização Semafórica - 2014.  
[https://www.denatran.gov.br/images/Educacao/Publicacoes/Manual\\_VOL\\_V\\_\(2\).pdf](https://www.denatran.gov.br/images/Educacao/Publicacoes/Manual_VOL_V_(2).pdf)
- [5] Vilanova, L. M.: Glossário dos Termos Empregados na Sinalização Semafórica - Sinal de Trânsito.  
[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/glossario\\_de\\_termos\\_sobre\\_semaforo.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/glossario_de_termos_sobre_semaforo.pdf)
- [6] *Concurrent vs. Exclusive - The Traffic Engineer's Dilemma with Pedestrian Signal Phasing - Massachusetts Department of Transportation.*  
<https://pdfs.semanticscholar.org/35de/39fdf0f6bb4bb6987323a4bbb85b57679523.pdf>
- [7] Pedestres ganham faixa diagonal entre as Avenidas Ipiranga e São João - Globo.com - G1, 26/01/2015.  
<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/01/pedestres-ganham-faixa-diagonal-entre-avenidas-hipiranga-e-sao-joao.html#:~:text=Quando%20o%20sem%C3%A1foro%20parado%20no,facilitar%20a%20vida%20dos%20pedestres%22>
- [8] Zakariya, Ahmed Y.; Rabia, Sherif I.: *Estimating the Minimum Delay Optimal Cycle Length Based on a Time-Dependent Delay Formula - Alexandria Engineering Journal* (2016) 55, 2509-2514.
- [9] *F. V. Webster: Traffic Signal Settings. Technical Report Road Research Technical Paper No. 39, Her Majesty's Stationery Office, Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory, 1958.*
- [10] Ming, S. H.: Nota Técnica 204/98: Realimentação.  
<http://www.cetsp.com.br/media/20773/nt%20204%20revisado%2009%2006.pdf>
- [11] *Evaluation and Changes to Pedestrian Priority Phase Signal (Scramble Crossing) at Bay Street and Bloor Street, Toronto - Staff Report Action Required - February 12, 2015.*
- [12] *Wagner, Peter; Gartner, Nathan H.; Lu, Ting; Oertel, Robert: Webster's Delay Formula - Revisited. For Presentation and Publication 3rd Annual Meeting - Transportation Research Board - January 12 - 16, 2014 - Washington, D. C. - Submission date: August 1, 2013.*
- [13] *SCOOT Traffic Handbook - Functional Description - Reduced Cycle Time at Quiet Times - SCOOT 0465 - Issue A - 28-Feb-2011.*
- [14] *SCOOT User Guide - 666/HF/16940/000 - Issue 34.*
- [15] *Bretherton, David; Bodger, Mark; Robinson, Jason; Skeoch, Ian; Gibson, Helen; Jackman, Gavin: SCOOT MMX (SCOOT Multi Modal 2010).*
- [16] Ming, S. H.: Um Paradoxo nas Travessias Semafóricas de Pedestres  
[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/verde\\_verm.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/verde_verm.pdf)



- [17] Ivana, John N.; McKernan, Kevin; Zhang, Yaohua; Ravishanker, Nalini; Mamun, Sha A.: *A Study of Pedestrian Compliance with Traffic Signals for Exclusive and Concurrent Phasing - Accident Analysis and Prevention* 98 (2017) 157-166.
- [18] Zhang, Y.; Mamun, S. A.; Ivan, J. N.; Ravishanker, N.; Haque, K.: *Safety Effects of Exclusive and Concurrent Signal Phasing for Pedestrian Crossing. Accident Analysis and Prevention* 83 (2015) 26-36.
- [19] Zegeer, Charles V.; Opiela, Kenneth S.; Cynecki, Michael J.: *Effect of Pedestrian Signals and Signal Timing on Pedestrian Accidents. Transportation Research Record* 847 (1982).
- [20] Fayish, Aaron C.; Gross, Frank: *Safety Effectiveness of Leading Pedestrian Intervals Evaluated by a Before - After Study with Comparison Groups. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2198, 2010, pp. 15-22.*
- [21] Ming, S. H.: *Nota Técnica 224: O Fenômeno para a Regressão para a Média em Estudos Observacionais de Segurança de Tráfego do Tipo "Antes-Depois" (2012).*  
<http://www.cetsp.com.br/media/135475/nt224o%20fenomeno%20da%20regressao%20para%20a%20media.pdf>

## AGRADECIMENTOS

O autor quer deixar registrado aqui os seus mais sinceros agradecimentos ao colega VIRGÍLIO DOS SANTOS pela sua minuciosa revisão do texto, com importantes contribuições para melhorar a qualidade do trabalho.