

Dimensionamento do Tempo de Amarelo

Luís Molist Vilanova

Introdução

A determinação do tempo de amarelo vem sendo feita em São Paulo com o uso de critérios totalmente subjetivos. Existe uma tendência em ajustar este tempo para três segundos, e em alguns locais mais críticos para quatro ou cinco segundos, ou então acrescentar um ou dois segundos de vermelho geral.

Estes acréscimos surgem de observações da engenharia em campo. Quando se tem uma transversal muito larga, fica flagrante o perigo a que está exposto o veículo que passa no final do amarelo. Ele ainda vai estar na área de conflito quando surgir o verde para a transversal. Nestes casos extremos, onde até a observação visual é suficiente para perceber o perigo, providências mais cuidadosas são tomadas.

Na maioria das vezes, porém, esta observação empírica não é suficiente para definir tempos compatíveis com a segurança. O assunto atinge até aspectos legais. Analisando vias com velocidade regulamentada pela Engenharia em função das suas características geométricas, foram encontrados, na maioria absoluta das vezes, semáforos oferecendo tempos de amarelo insuficientes.

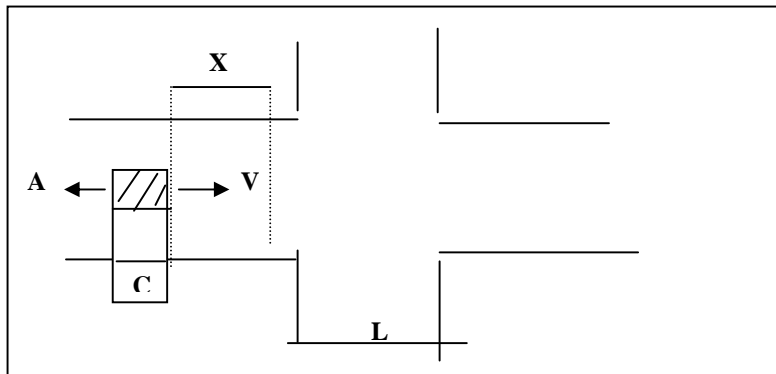
Acredita-se que essa deficiência constitui um grave gerador de acidentes. Não existem pesquisas específicas para demonstrar esta hipótese, mas considerando a potencialidade de risco envolvido, tudo leva a crer que existe uma forte correlação. Apenas citando um exemplo a título de ilustração: no cruzamento da Rua da Consolação x Rua Caio Prado foram acrescentados 2 segundos de vermelho após o estágio desta última. Nos seis meses anteriores à alteração, ocorreram 14 colisões com vítimas, e nos seis meses posteriores 9 acidentes deste tipo foram registrados, o que denota uma redução de 35 %. Os atropelamentos também foram reduzidos de 10 para 4 (60%), no mesmo período.

Apesar de ser um caso isolado, os resultados foram tão flagrantes que conclui-se pela necessidade de se desenvolver mais o assunto. A oportunidade surgiu ao longo dos debates semanais do grupo de sinalização do Núcleo de Estudos e Pesquisas do Comportamento.

Outro ponto digno de atenção é que se forem considerados os 100 cruzamentos com maiores índices de colisões com vítimas em São Paulo, 98 encontram-se com semáforos instalados. Não se pode inferir que esta alta porcentagem deve-se a tempos de amarelo mal dimensionados. Mas é possível afirmar que se for dado um melhor tratamento aos cruzamentos semaforizados, estar-se-á atacando os locais com maior concentração de acidentes.

Teoria do Entreverdes

A primeira apreciação teórica do problema do amarelo foi desenvolvida por Gazis, em 1959. Apesar de algumas propostas feitas posteriormente por outros autores, a formulação de Gazis permanece universalmente aceita. Resume-se a seguir sua demonstração.



Onde:

X = distância que o veículo se encontra da retenção, quando surge o amarelo

C = comprimento do carro

L = largura da transversal

V = velocidade de aproximação

\tilde{A} = máxima desaceleração que o motorista/veículo aceitam

T_{pr} = tempo perdido pelo motorista, composto pela demora da percepção e pelo tempo necessário para a reação

Para que o veículo consiga frear na retenção, a seguinte relação tem de ser obedecida:

$$X \geq V \cdot T_{pr} + \frac{V^2}{2 \tilde{A}}$$

Portanto, existe um x crítico, abaixo do qual os veículos não têm condições de frear a tempo.

Para todos os veículos que estão nesta situação é necessário que se dê condições para que eles possam sair da área de conflito antes do final do amarelo. O veículo que precisa de um tempo maior é aquele que se encontra na seção do x crítico.

Dessa forma, calcula-se o tempo de amarelo (A) necessário:

$$V \cdot A = V \cdot T_{pr} + \frac{V^2}{2 \tilde{a}} + L + C$$

ou

$$A = T_{pr} + \frac{V}{2 \tilde{a}} + \frac{L + C}{V}$$

Se o amarelo for inferior a este valor, cria-se uma região onde o veículo não consegue frear a tempo, pois está a uma distância menor do que o x crítico, nem prosseguir e sair da área de conflito antes que seja aberto o sinal verde para a transversal. A esta região dá-se o nome de região de dilema.

Gazis especifica o amarelo como o tempo necessário para promover a limpeza do cruzamento. Estudos mais recentes, entretanto, propõem que o amarelo seja calculado apenas para o x crítico. O escoamento dos veículos referentes à parcela L + C seria feito com vermelho geral.

Este enfoque parece ser mais razoável. A regulamentação do amarelo dispõe que o veículo deve frear - a referência é a retenção - quando aparece o amarelo, a menos que não seja possível fazê-lo (desaceleração maior do que a aceitável). Ou seja, ao amarelo está associada a idéia de retenção. Entende-se, então, que o amarelo tem que ser suficiente para se evitar que um veículo qualquer se veja obrigado a passar pela retenção com o semáforo já em vermelho.

Com essa simplificação, o cálculo do tempo de amarelo passa a ser:

$$A = T_{pr} + \frac{V}{2 \tilde{a}}$$

Dentro deste enfoque, a limpeza do cruzamento deveria ser feita com um tempo de vermelho geral. Em princípio este tempo deveria ser igual a $\frac{L + C}{V}$. Existe, porém, um outro aspecto a ser considerado.

A partir do instante em que o verde é aberto para a transversal, existe uma certa demora até que os veículos desta via realmente adentrem no cruzamento. Pelos dados encontrados na bibliografia este valor é assumido como 3,3 segundos. Entretanto, este valor é exagerado, já que leva em conta apenas os veículos que estão parados quando é aberto o verde.

Devido a esse fator, foi desenvolvida uma pesquisa específica, medindo o tempo decorrido entre a abertura do verde e a entrada na área de conflito dos veículos que já vinham em velocidade. Foram apreciadas as situações mais críticas. Não foi encontrado nenhum valor menor do que 1,2 segundos. Como é um parâmetro que tem relação direta com a potencialidade de risco, julgou-se melhor considerar este valor mínimo e não o valor médio ou o valor a 85% da amostra. Este valor mínimo é denominado Tf.

Resumindo, então, o cálculo do tempo de vermelho geral se dá pela fórmula:

$$VG = \frac{L + C}{V} - Tf.$$

Um cuidado especial deve ser tomado quando existirem no cruzamento focos para travessia de pedestres. Neste caso, deve-se assumir a parcela Tf como igual a zero.

Com observações em campo sobre o comportamento do pedestre, nota-se que ele se orienta, muitas vezes, apenas pelo seu foco. Daí decorre um risco muito grande de ser colhido pelo veículo que está terminando a travessia do cruzamento, no final de seu estágio. Ou seja, é importante oferecer, nestes casos, um tempo de vermelho geral adequado sem descontar nenhuma parcela, pois a reação do pedestre é praticamente instantânea.

Quantificação dos Parâmetros

A formulação técnica, já demonstrada, é bastante simples. A parte mais difícil é a de encontrar os melhores valores numéricos para aplicar. Como os tempos de amarelo e vermelho geral são mínimos, qualquer pequeno desvio nas variáveis independentes ocasiona uma variação percentual significativa nos resultados finais.

A estratégia adotada para encontrar os valores destes parâmetros foi a de recorrer a trabalhos publicados sobre o assunto e verificar estes números com pequenas pesquisas de campo, para se ter certeza de que as recomendações dos trabalhos feitos (todos nos Estados Unidos) se enquadram dentro da nossa realidade.

Tempo de Percepção e Reação

O tempo de percepção e reação é o tempo pedido pelo motorista, composto pelo tempo necessário para a percepção da mudança do semáforo para amarelo e o tempo de reação utilizado até começar a frear.

As pesquisas desenvolvidas apontam para valores entre 0,8 e 1,2 segundos. Como é pequena a variação entre esses valores, adota-se como Tpr o valor de 1 segundo.

Velocidade

A bibliografia específica indica, na maioria dos casos, que a velocidade adotada deve ser a correspondente ao percentil 85, ou seja, levantado o perfil de distribuição de velocidade, deve-se escolher o valor abaixo do qual se situam 85% dos casos. Assim, somente 15% dos veículos teriam uma velocidade maior do que a escolhida para o cálculo.

Se for adotado esse critério, o trabalho da Engenharia ficará bastante complexo, sacrificando os resultados práticos. Não é fácil fazer esse levantamento de velocidades pontuais, que exige um equipamento sofisticado e o dispêndio de um tempo significativo.

Além disso, existem situações distintas, como por exemplo se for considerado o período noturno. Na maioria dos equipamentos disponíveis, apenas um tempo de amarelo pode ser programado. Nesse caso pode-se argumentar que deveriam ser consideradas as velocidades noturnas pelo fator segurança. Porém, se forem colocados tempos de amarelo maiores do que o necessário para o período diurno, onde se situa quase que toda a demanda, corre-se o risco de transformar o amarelo num tempo de segurança desacreditado.

Tendo em vista esses problemas, propõe-se que a velocidade adotada, seja a velocidade limite definida pelo Código Nacional de Trânsito, isto é:

- 40 Km/h nas vias secundárias
- 60 Km/h nas preferenciais
- 80 Km/h nas vias expressas

Não foram consideradas as vias locais cuja velocidade é regulamentada em 20 Km/h, pois, se o local foi implantado um semáforo, entendeu-se ser a via merecedora da definição via secundária.

A via expressa, por sua própria definição não comporta semáforos, mas existem algumas que apresentam longos trechos típicos de uma via deste tipo, quando então, estes são interrompidos por um sinalização semafórica.

A adoção destes limites pode ser criticada, pois sabe-se que essas velocidades são muitas vezes ultrapassadas. Porém, como será demonstrado posteriormente, assumindo as velocidades regulamentadas, já se poderia obter um argumento substancial nos tempos de entreverdes da cidade. A grande vantagem de se adotar esse procedimento é a regularização do aspecto legal da questão. Dessa forma, pode-se garantir ao motorista não infrator, uma segurança que hoje em dia ele não tem.

Além disso, os trabalhos já realizados sobre o assunto, mostram a tendência dos motoristas em desacelerar quando sentem que estão próximos ao x crítico e que podem ser surpreendidos pelo amarelo.

Numa pesquisa efetuada na Avenida Rebouças, sentido centro/bairro, a velocidade encontrada nos veículos que iam cruzar à Av. Faria Lima, e que estavam sujeitos a se depararem com o amarelo, foi de 57 Km/hora, muito próxima, portanto, dos 60 Km/h adotados pelo critério legal.

Outro ponto importante, apontado pelos pesquisadores, é o fato de que os motoristas que resolvem prosseguir, quando aparece o amarelo, tendem a acelerar o veículo. Esse fator, se considerado, acaba reduzindo o tempo de amarelo e vermelho geral necessários.

Tem-se, portanto, uma série de micro fatores atuando no problema. Alguns deles tendem a aumentar o tempo de entreverdes necessários e outros a diminuí-los.

O que ocorre atualmente, porém, é que nem se valendo das formulações mais otimistas, poder-se-ia justificar os tempos existentes. Por isso, acredita-se que a adoção dos valores indicados vai ser suficiente para resolver boa parte do problema.

Em alguns casos específicos, mais delicados, não se pode aceitar a solução da velocidade legal, e deve-se partir para uma análise cuidadosa do perfil de velocidades.

Desaceleração Máxima

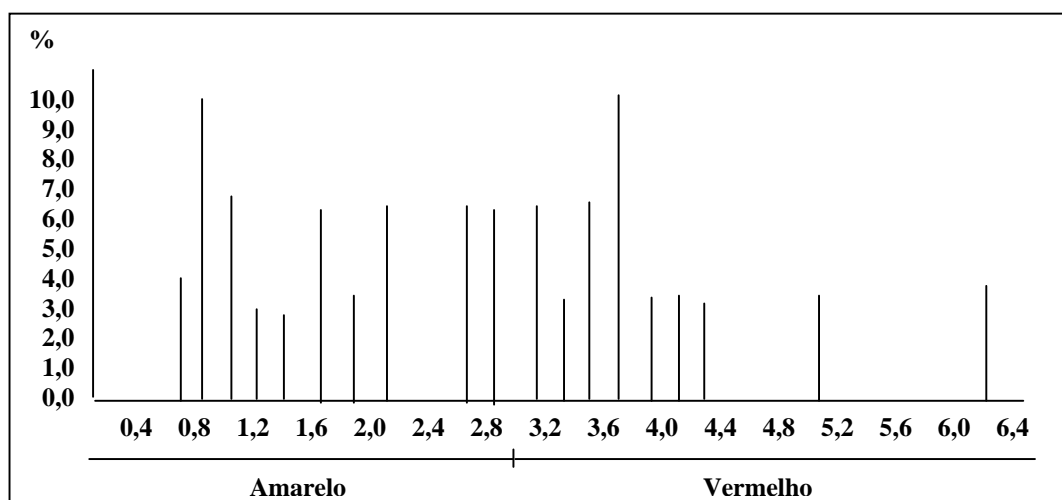
As recomendações encontradas, para o valor de desaceleração máxima aceita pelo motorista, variam entre 2,0 m/s² e 4,2 m/s². Existe, porém, uma concentração entre os valores 2,4 m/s² e 3,6 m/s². Estes dados referem-se sempre, ao nível 85 percentil.

Como não se tinha condições de medir diretamente esta desaceleração, partiu-se para um procedimento diferente, ou seja, levantou-se na área de aproximação da Av. Rebouças junto à Av. Faria Lima, no sentido centro/bairro, o perfil dos veículos que passavam pela retenção desde o início do amarelo, que era de três segundos.

Daí, conclui-se que o instante referente ao percentil 85, da amostra, era de 3,8 segundos. Medindo a velocidade correspondente (57 Km/h) e aceitando-se o tempo de percepção e reação como de 1 segundo, chegou-se a uma desaceleração de 2,8 m/s².

Na verdade, muitas outras pesquisas deveriam ser efetuadas para definir este valor, mas como os 2,8 m/s² encontrados situam-se na média dos resultados de outros trabalhos, resolveu-se fixar este valor como o de projeto.

Mostra-se a seguir o gráfico relativo aos veículos que passaram no amarelo na Avenida Rebouças.



Este gráfico apresenta na abscissa o eixo dos tempos. O instante zero corresponde ao início do amarelo.

Na ordenada está representada a porcentagem de veículos que passaram num determinado intervalo de tempo, em relação ao total de veículos que passaram após o início do amarelo.

Observe-se que atualmente, com o tempo de amarelo igual a 3 segundos, tem-se 28% dos veículos passando pela retenção após o término do amarelo.

Se o tempo do amarelo for aumentado para o valor encontrado de $3,8 \text{ s} \cong 4,0 \text{ s}$, este número cairá para 12%.

Tempos de Amarelo

Adotando-se os valores estabelecidos nos outros itens, ou seja, tempo de percepção e reação igual a 1 segundo, desaceleração máxima igual a $2,8 \text{ m/s}^2$ e usando a fórmula $A = T_{pr} + \frac{V}{2a}$, tem-se o seguinte quadro

Velocidade (Km/hora)	Tempo de amarelo (segundos)
40	2,99
60	3,98
80	4,98

Conclui-se do quadro que os semáforos situados nas vias secundárias podem continuar com os 3 segundos hoje existentes.

Nas avenidas, porém, onde a maioria dos semáforos estão programados para 3 segundos, este valor deve subir para 4 segundos.

Em alguns casos excepcionais, na Av. dos Bandeirantes e na Av. Radial Leste em alguns pontos, o tempo de amarelo deve ser programado em 5 segundos.

Tempo de Vermelho Geral

O dimensionamento do tempo de vermelho geral se faz pela fórmula: $VG = \frac{L + C}{V} - T_f$.

Considerando T_f igual a 1,2 segundos, foram analisados alguns casos típicos conforme é demonstrado a seguir.

Considera-se para o caso A uma transversal com largura igual a 9 metros e para o caso B, a travessia de uma avenida com 4 faixas por pista e canteiro central, o que resulta em uma largura média de 30 metros. O comprimento do veículo C, é igual a 5 metros.

Com essas hipóteses construiu-se o quadro abaixo para o vermelho geral:

Velocidade (Km/hora)	Tipo	A	B
40		0,06	1,95
60		0	0,90
80		0	0,38

- Para a travessia de uma via típica de 9 metros não é necessário o tempo de vermelho geral.
- Para uma via secundária atravessar uma avenida larga são necessários 2 segundos de vermelho geral.

- Duas avenidas largas se cruzando, vão exigir 1 segundo de vermelho geral ao fim dos estágios de cada uma delas.

Observe-se que não está sendo considerado, aqui, o problema do foco de pedestres já apontado antes. Recomenda-se também, que nas vias com elevado índice de ônibus ou caminhões, seja adotado o valor de C correspondente.

Possíveis Objeções

Uma das razões principais que explicam a relutância da Engenharia (não só no Brasil) em providenciar tempos de entreverdes maiores, é o receio de aumentar o tempo morto, reduzindo assim a capacidade da interseção. Este receio é ainda maior no caso de avenidas, que geralmente já se encontram no limite de saturação. No entanto, por razões de segurança, justamente as avenidas necessitam de um tempo de entreverdes maior.

Existe, porém, um fator importante que contraria esse argumento: o tempo morto não é o tempo de amarelo de foco, mas sim, o tempo perdido na realidade.

Os veículos precisam de um tempo mínimo para poder escoar, seja no amarelo de quatro, três ou zero segundos.

Outra idéia bastante propagada, não só no Brasil, é a de que um amarelo mais longo acaba sendo encarado pelos usuários como um prolongamento do verde, perdendo assim sua eficácia. Existe um limite máximo, mas no resumo de artigos inseridos no final deste trabalho, mostra-se claramente que isso não ocorre, pelo menos até os 6 segundos.

Mesmo que esse motivo seja válido, não se justifica impor ao motorista que está obedecendo as regulamentações, uma situação em que ele não tem saída: não consegue frear a tempo, nem sair da área de conflito antes que os veículos da transversal avancem na interseção.

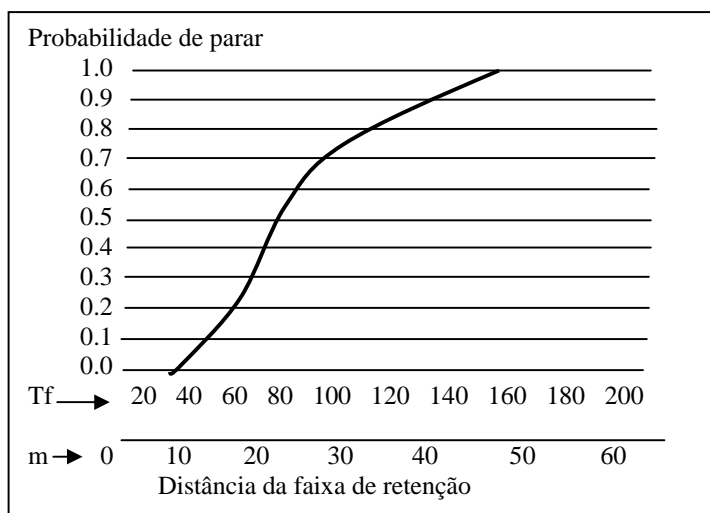
Resumo de Bibliografia Consultada

Driver Behaviour During the Yellow Interval (O comportamento do motorista durante o amarelo), autor: William Williams

O autor preocupa-se basicamente com três questões: o que os motoristas fazem quando o semáforo vai para o amarelo? Qual é a desaceleração máxima aceita pelos motoristas? Qual deve ser o período de limpeza para satisfazer as necessidades existentes?

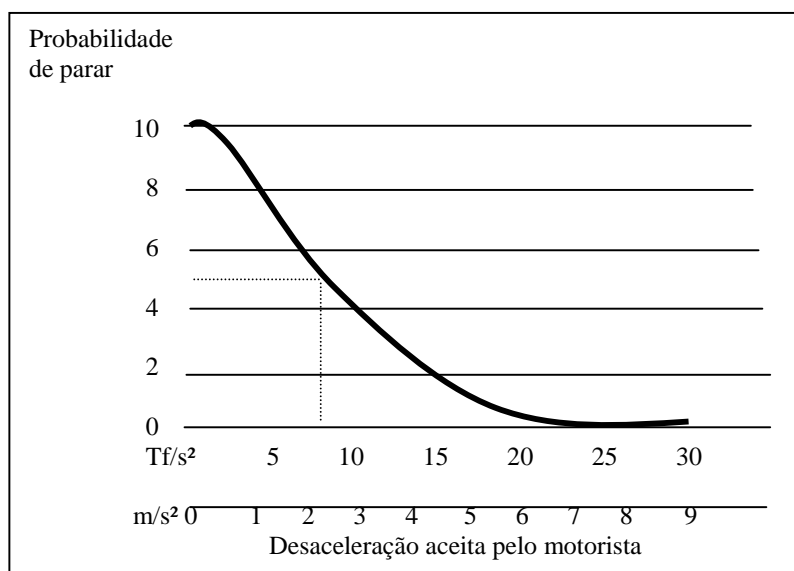
A análise foi feita em uma só interseção. Foram registradas as decisões de 816 veículos frente ao amarelo. Os resultados da probabilidade de parar, em função da distância em que os veículos se encontravam da linha de retenção quando o semáforo foi para amarelo, estão representados na figura 1.

Figura 1 - A probabilidade de parar no amarelo (n.º de veículos que pararam = 389, total de veículos observados = 816)



Na figura 2, a curva representa a probabilidade de parar em função da desaceleração necessária. Ela mostra que metade dos motoristas não aceitam uma desaceleração maior do que $2,8 \text{ m/s}^2$, 20% não aceitam mais do que $2,1 \text{ m/s}^2$ e somente 10% conseguem frear com uma desaceleração maior do que $4,9 \text{ m/s}^2$.

Figura 2 - A probabilidade de parar e a taxa de desaceleração (n.º de veículos que pararam = 369, total de veículos observados = 816)



Para dimensionar o comprimento do amarelo, o autor recomenda a seguinte fórmula:

$$A = T_{pr} + \frac{V}{2\ddot{a}} + \frac{L + C}{V} \left(K + \sqrt{\frac{2d}{a +}} \right)$$

onde:

A = tempo do amarelo

T_{pr} = tempo de percepção e reação do motorista (1,1 segundos)

V = velocidade de aproximação correspondente a 85%

ã = desaceleração aceita em 85% (2,0 m/s²)

L = largura da transversal

C = comprimento do veículo (5 metros)

K = tempo de reação do trânsito da transversal (0,45)

d = distância dos veículos parados na transversal até o início da zona de conflito.

A + = máximo aceleração do veículo da transversal (4,9 m/s²).

Estes valores devem ser calculados para as características de cada cidade. Recomenda-se zerar o termo correspondente à subtração, quando os veículos da transversal tiverem possibilidade de enxergar o amarelo da outra via.

A desaceleração máxima observada, a nível de 85% da amostra, foi de 2,0 m/s².

O tempo calculado para limpeza do cruzamento pode ser oferecido pela soma do amarelo e do vermelho geral. O autor propõe, então, que uma cidade padronize o amarelo em, por exemplo, 3,6 segundos e complete o tempo necessário com vermelho geral.

Quanto à equação, o autor considera que o seu mérito seja o de incluir teoricamente os fenômenos físicos envolvidos.

Deceleration Level's and Clearance Time Associated with the Amber Phase of Traffic Signals
(Níveis de desaceleração e tempos de limpeza associados ao tempo de amarelo dos semáforos).
Autores: Paul Olson e Richard Rothey.

Os autores repetem as considerações introduzidas por Gazis em 1959.

Quando o tempo de amarelo é insuficiente cria-se uma zona de dilema; os veículos que estão neste trecho não conseguem frear a tempo nem prosseguir com segurança e atravessar o cruzamento. O tempo de amarelo necessário para eliminar essa zona de dilema, segundo Gazis é:

$$A = T_{pr} + \frac{V}{2\ddot{a}} + \frac{L + C}{V}$$

Em seguida os autores se reportam à noção de amarelo encontrada no *Transportation and Traffic Engineering Handbook*: "O amarelo tem duas finalidades, uma é permitir aos veículos uma parada segura antes do final do amarelo e a outra garantir aos veículos que entraram na interseção, o tempo necessário para sair dela antes de aparecer o sinal verde para a transversal".

Os autores pretendem estudar a seguir, a influência do amarelo no comportamento dos motoristas.

Foram observadas 2 interseções isoladas, bastante semelhantes, com velocidades em torno de 50 Km/h. Registraram-se as seguintes variáveis: intensidade do fluxo (no pico e fora do pico); condições do pavimento (seco e molhado) e a duração do amarelo.

A pesquisa foi feita com os tempos de amarelo já existentes. Em seguida foram aumentados esses tempos e efetuada nova pesquisa. Foram coletados 1761 eventos.

Em um dos locais, o aumento do amarelo foi de 4,6 segundos para 6,0 segundos. Com este acréscimo a percentagem de veículos que atravessaram no vermelho baixou de 15% para 1%.

No outro local, o amarelo que era de 4,2 segundos passou para 5,8 segundos. A percentagem de veículos transgredindo o vermelho caiu de 80% para 20%.

Tem sido alardeado que um amarelo muito grande pode passar a ser usado como verde pelos usuários. Para melhor esclarecer essa questão, levantou-se a curva de percentagem de veículos que passam pela retenção após o início do amarelo, invadindo inclusive, o vermelho. Esse levantamento foi efetuado utilizando-se dois tempos diferentes de amarelo para um mesmo cruzamento.

Como as duas percentagens foram extremamente próximas, observou-se então, que essa curva independe do tempo de exposição do amarelo no que diz respeito a quantidade de veículos passando pela retenção, mas reduz a quantidade de veículos transgredindo o vermelho.

Essa verificação reforça, portanto, a tese de que o comportamento do motorista não se modifica com um tempo de amarelo maior, no sentido de utilizá-lo como se fosse verde.

Quanto à influência da intensidade de fluxo, verificou-se que a percentagem de veículos que cruzam no vermelho durante o pico excedeu em 29% a percentagem de fora do pico.

Como as velocidades foram menores durante o pico, concluiu-se que a percentagem de veículos que passaram pela retenção no vermelho é diretamente proporcional a velocidade, como se assume nas fórmulas existentes.

Quanto à influência da chuva, observou-se que a percentagem de veículos que passam no vermelho foi de 26% maior em pavimento seco durante o horário fora do pico. Durante a hora do pico o pavimento seco excedeu em 17% o pavimento molhado.

Concluindo. O autor ressalta que não existe consenso entre os engenheiros de tráfego sobre o cálculo do tempo de amarelo ótimo. Além disso, propõe que seja verificada uma correlação entre diferentes tempos de amarelo com o número de colisões, trabalho este ainda não efetuado.

The yellow signal is not a Clearance Interval (O amarelo não é um intervalo de limpeza) Autores: Howard Bissel e Doyey Warren.

O propósito dos autores é refutar a idéia de que o tempo de amarelo é um tempo de limpeza do cruzamento. Segundo eles, o amarelo é simplesmente um intervalo que serve para avisar aos motoristas de que seu verde está terminando. A limpeza do cruzamento poderia se dar no início do vermelho.

Esta idéia apoia-se em vários estudos que mediram a demora para os veículos da transversal adentrarem no cruzamento após o início do verde. Este intervalo situou-se em torno de 3,8 segundos, com bastante homogeneidade.

O tempo de percepção e reação foi recomendado como de 1 segundo. Para a desaceleração máxima sugeriu-se a adoção do valor 3m/s^2 . Estes valores serviriam para calcular o tempo de amarelo suficiente para que o veículo consiga chegar na retenção. Após este ponto, o veículo poderia se encontrar no vermelho.

Em seguida, o autor critica a hipótese de padronizar o tempo de amarelo de um cidade para um valor fixo. Cita uma experiência realizada na qual foram equalizados os amarelos para os 267 semáforos de uma cidade. Não houve alteração significativa nos resultados. Os acidentes passaram de 1.41 por milhão de veículos envolvidos, para 1.38 por milhão.

Outra experiência realizada foi a de acrescentar vermelho geral em 47 cruzamentos semaforizados. Neste caso, os acidentes passaram de 1.67 por milhão de veículos, para 1.34. Porém, essa pesquisa não conseguiu estabelecer uma correlação entre a redução de acidentes e a largura das vias em questão. Como conclusão dessa experiência, foi recomendado que um tempo de vermelho geral fosse acrescentado em interseções com alto índice de colisões em ângulo reto (acima de 1.0 por milhão de veículos envolvidos).

Os autores, entretanto, não indicam como calcular esse tempo de vermelho geral.

Driver response to the amber phase of traffic signals (A resposta dos motoristas ao amarelo do semáforo). Autores: Paul L. Olson e Richard W. Rothery.

Os autores recomendam a fórmula de Grazis como bastante boa. Advertem que os tempos de amarelo encontrados, na prática não obedecem esta equação, mesmo considerando desacelerações fortes como $4,8 \text{ m/s}^2$.

Muitos engenheiros são contra o aumento do tempo de amarelo; consideram que nesse caso o amarelo passaria a ser encarado pelos motoristas como se fosse uma extensão do verde. Os autores replicam, porém, que mesmo que isso fosse verdade, não seria correto impor um amarelo insuficiente, o que iria prejudicar até os motoristas mais criteriosos.

Propuseram-se, então, a investigar se esse pré-julgamento dos engenheiros é correto, através de um estudo do comportamento dos motoristas face a diferentes tempos de amarelo.

A estratégia foi estudar pares de interseções tão parecidas quanto possível, mas que diferiam substancialmente quanto à extensão do amarelo. Em cada uma desses lugares foram registrados cerca de 300 medidas.

Na primeira comparação foram apreciados dois locais com velocidades limitadas em 64 Km/h. Num dos locais a velocidade média real era de 61Km/h e no outro 58 Km/h. Os amarelos eram de 4.15 e 2.90 segundos.

As curvas de probabilidade de parar em função da distância da retenção mostraram-se extremamente próximas. Em nenhum ponto a diferença, para a mesma probabilidade, ultrapassou o comprimento de um veículo.

Na segunda comparação, foram tomados dois locais com velocidades limitadas em 40Km/h. As velocidades médias reais foram de 53Km/h e 50Km/h. Os amarelos eram de 4.75 e de 3.00 segundos. Novamente, as duas curvas de probabilidade apresentaram-se extremamente próximas.

Esses resultados mostram que o comportamento dos motoristas não se altera quando defrontados com amarelos mais longos. Quanto à desaceleração máxima, os valores encontrados situaram-se na faixa entre $3,6$ e $4,2 \text{ m/s}^2$.

Os autores propõem que o cálculo do amarelo seja feito pela seguinte fórmula:
$$A = \frac{S + W L}{V}$$

Onde:

S = distância da retenção na qual 95% dos veículos que prosseguem, quando surge o amarelo, conseguem entrar na interseção antes do vermelho.

W = largura da transversal

L = comprimento do veículo

V = velocidade de aproximação

Para os casos estudados, usando essa fórmula, teria-se um amarelo de 5.25 segundos para uma velocidade de 50 Km/hora. Para 60 Km/h encontraria-se um tempo de 5.39 segundos e para 80 Km/h o valor de 5.57 segundos. A pequena diferença entre esses tempos leva os autores a sugerir a padronização do tempo de amarelo em 5.5 segundos, apenas tomando cuidados especiais em interseções que apresentam uma transversal especialmente larga.

Como conclusão do trabalho são citadas três afirmações:

- O comportamento do motorista não se altera em função da duração do amarelo.
- Os tempos de amarelo observados na prática são muito curtos, tanto do ponto de vista da zona de dilema, como do ponto de vista do comportamento dos motoristas.

- Um tempo de amarelo constante, de 5,5 segundos, seria válido para uma larga faixa de velocidades, com algumas variações no caso de transversais muito largas.

Eng.º Luís Molist Vilanova (Get 1)
Núcleo de Estudos e Pesquisas de Comportamento