

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE MOTORISTAS DURANTE A FASE AMARELA NUM SEMÁFORO

Diogo Artur Tocacelli Colella

José Reynaldo Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO

O objetivo deste trabalho é caracterizar o comportamento de motoristas durante a fase amarela num semáforo, em termos da influência da faixa etária e do gênero do motorista, da declividade da via e da distância do cruzamento em que o veículo se encontra no instante em que ocorre a mudança de fase para o amarelo sobre a posição de parada do veículo em relação à faixa de retenção. Os dados usados foram coletados com um veículo instrumentado que foi dirigido por 60 motoristas, divididos igualmente entre cada sexo, cujas idades variavam entre 21 e 81 anos de idade. Foi verificado que existe uma zona de opção no cruzamento estudado, que permitia aos motoristas decidir entre parar ou continuar no instante da mudança de fase. A extensão da invasão do cruzamento é inversamente proporcional à distância entre o veículo e a faixa de retenção no instante em que ocorre a mudança de fase. Uma série de testes ANOVA sugere que existe influência estatisticamente significativa da faixa etária na posição final dos veículos, em relação à faixa de retenção; o que não ocorre com os fatores gênero ou declividade da via em questão.

ABSTRACT

The objective of this paper is to characterize driver behavior during the yellow phase at a signal in terms of the effect of driver gender and age group, roadway grade and distance to intersection at the onset of the yellow on the vehicle final position in relation to the stop bar. Data were collected using an instrumented car which was driven by 60 volunteers, equally divided in men and women and whose age varied between 21 and 81. An option zone was identified at the intersection studied, which allowed drivers to decide between proceeding or stopping at the signal. The data show that the extent cars drive over the stop bar is inversely proportional to their distance to the intersection at the onset of the yellow phase. The results of a series of ANOVA tests suggest that there are statistically significant effect of age group in relation to the stop bar; this not occur with gender or roadway grade on the final position of vehicles.

1. INTRODUÇÃO

Um dos pontos mais críticos do sistema de transporte rodoviário são os cruzamentos semaforizados. Projetos de semaforização deficientes, além de introduzir atrasos na corrente de tráfego e aumentar a emissão de poluentes, podem prejudicar a segurança viária. No Brasil, em 2001, o gasto total relacionado aos acidentes ocorridos em áreas urbanas – principalmente em interseções – foi estimado em 5,3 bilhões de reais (IPEA, 2003).

Um aspecto complexo dos cruzamentos semaforizados é o comportamento do motorista que se defronta com uma mudança de fase do verde para o amarelo quando se aproxima do cruzamento. Este motorista deve decidir pela alternativa mais segura entre prosseguir ou parar no sinal. Para prosseguir, ele deverá percorrer a distância que o separa da interseção e cruzá-la antes do final do amarelo; para parar, seu carro deverá frear na distância disponível, sem entrar no cruzamento e sem que a desaceleração seja tão grande que um eventual veículo que venha seguindo não consiga parar sem evitar uma colisão traseira.

O estudo do impacto de variáveis psicológicas, como stress ou ansiedade, no comportamento dos motoristas vem sendo estudado por diversos autores (Yager e Kikuchi, 2004; El-Shawarby *et al.*, 2006; Shinar e Compton, 2004). O efeito da tomada de decisão sobre a posição final do veículo, no entanto, não tem sido muito estudado. Assim, o objetivo deste

trabalho é caracterizar o comportamento de motoristas que se aproximam de um cruzamento semaforizado durante o amarelo, em termos do efeito do processo de tomada de decisão entre continuar ou parar sobre a posição final de parada do veículo, considerando a faixa etária e o gênero do motorista, a declividade da via e a distância do cruzamento em que o veículo se encontra no instante em que ocorre a mudança de fase para o amarelo. Os resultados aqui apresentados, combinados com dados sobre a desaceleração e sobre o processo de tomada de decisão, permitem melhorar o conhecimento sobre o efeito da mudança de fase semaforica sobre o tráfego, e podem auxiliar o projeto de cruzamentos semaforizados ou serem implementados em modelos de simulação.

2. ZONA DE OPÇÃO E ZONA DE DILEMA

Um motorista que se aproxima de um cruzamento semaforizado no instante em que ocorre a mudança do verde para o amarelo é obrigado a decidir entre parar ou prosseguir. Esta decisão é influenciada pela velocidade inicial do veículo, pelo tempo de percepção e reação (TPR) do motorista, pela distância até o cruzamento, pela distância mínima de frenagem, entre outros aspectos (Papaioannou, 2007). Gazis *et al.* (1960) apresentaram um dos primeiros estudos sobre o comportamento de motoristas quando a luz amarela do semáforo aparece. O estudo introduziu o conceito de zona de dilema (ZD), que pode ser definida como a região na qual os motoristas não têm distância suficiente para frear com segurança nem conseguem transpor totalmente a interseção antes do final da indicação de amarelo (Sheffi e Mahmassani, 1981).

Além desta definição de ZD, existe outra, baseada no ponto de vista dos motoristas. Nesta outra definição, a zona de dilema é a região em que 10% dos motoristas decidem parar e 90% decidem prosseguir (Pant e Cheng, 2001; Millazo *et al.*, 2002; McCoy e Pesti, 2003; Pant *et al.*, 2005; El-Shawarby *et al.*, 2006). Este enfoque remete à definição de zona de opção, o oposto da zona de dilema. A zona de opção (ZO) é aquela na qual o motorista tanto pode parar sem invadir o cruzamento como prosseguir com segurança e sair da interseção antes do início do vermelho (El-Shawarby *et al.*, 2006; Papaioannou, 2007).

Estar em uma ZO não acarreta riscos ao motorista. Considerando o início da fase amarela, a ZO é o trecho de via no qual o motorista pode escolher entre parar ou cruzar a interseção com segurança, como se mostra no caso (b) da Figura 1. Porém, se o motorista se encontrar em uma ZD, não lhe será possível nem parar nem prosseguir com segurança, como no caso (e) da Figura 1. Por conseguinte, a ocorrência de zonas de dilema é algo indesejável do ponto de vista da Engenharia de Tráfego e costuma ocorrer apenas quando a velocidade do veículo é maior que a permitida ou a usada na determinação dos parâmetros semaforicos.

A ocorrência de ZO ou ZD é obtida da combinação entre os trechos da via no qual o motorista não deve parar e no qual não deve passar. Caso a distância até o cruzamento seja inferior à distância mínima de frenagem, não se deve parar, pois o veículo irá invadir o cruzamento. A distância mínima necessária para parar com segurança pode ser calculada por (El-Shawarby *et al.*, 2006):

$$SSD = V \cdot \delta + \frac{V^2}{2g(f \pm m)} \quad (1)$$

sendo SSD : distância mínima do cruzamento para frenagem com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação do veículo (m/s);
 δ : tempo de percepção e reação do motorista (s);
 f : coeficiente de atrito pneu-pavimento;
 m : declividade da via;
 g : aceleração da gravidade.

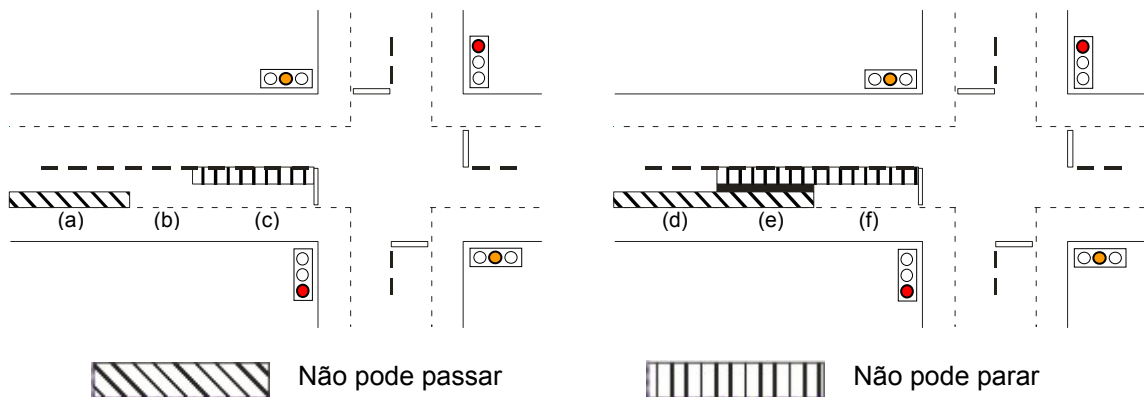


Figura 1: Ocorrência de zona de opção (b) ou zona de dilema (e) num cruzamento

Caso a distância até o cruzamento seja muito grande, o motorista não deve continuar, pois, na velocidade de aproximação, o veículo não será capaz de atravessar o cruzamento com segurança antes do início do verde da fase seguinte. A distância máxima dentro da qual é possível atravessar o cruzamento com segurança é (Papaioannou, 2007):

$$CCD = V \cdot \tau - (w + l) \quad (2)$$

sendo CCD : distância máxima para atravessar o cruzamento com segurança (m);
 V : velocidade de aproximação (m/s);
 τ : tempo entre verdes (s);
 w : largura do cruzamento (m); e
 l : comprimento do veículo (m) – que deve deixar a interseção totalmente.

Para minimizar a possibilidade de aparecimento de zona de dilema, podem ser estudadas diferentes combinações entre velocidade de aproximação e tempo da fase amarela. Teoricamente, a programação semafórica pode ser alterada até garantir que nenhum veículo esteja sujeito à zona de dilema, mas essa técnica aumenta os atrasos e diminui a velocidade da corrente de tráfego (Pant e Cheng, 2001). Deve-se, ainda, considerar que fatores humanos, como o tempo de percepção e reação, e condições do veículo e da via permitem infinitas condições de comportamento no tráfego (Gazis *et al.*, 1960; ITE, 1992; Pant e Cheng, 2001; Pant *et al.*, 2005).

Dentre os fatores humanos, as pesquisas geralmente buscam identificar diferenças no comportamento dos motoristas em relação à idade e ao gênero. Shinar e Compton (2004), El-Shawarby *et al.* (2006) e Inman *et al.* (2006) estudam a diferença entre motoristas jovens e

idosos. Caird *et al.* (2005) e Hicks *et al.* (2005) também estudam o fator idade, porém, consideram uma terceira faixa etária, de idade intermediária. A comparação entre grupos de motoristas em função da agressividade pode ser vista nos trabalhos de Shinar e Compton (2004) e Hicks *et al.* (2005).

3. COLETA DOS DADOS

Os dados usados neste estudo foram coletados em 2005, no Virginia Tech Transportation Institute, nos EUA, durante um experimento para testar um sistema de alerta sobre iminência da entrada, no cruzamento, de um veículo desrespeitando um sinal vermelho. Foram observados 60 motoristas voluntários, enquanto dirigiam um veículo instrumentado em uma rodovia particular, fechada ao tráfego normal. A Figura 2 apresenta, no sentido horário, o veículo, o sistema de aquisição de dados (DAS) nele instalado, o controlador semafórico usado e o cruzamento e a rodovia usada.



Figura 2: Veículo, equipamentos e cruzamento usado na coleta dos dados

Os 60 participantes foram divididos em dois grupos, um com idade inferior a 65 anos (32 pessoas) e outro com idade igual ou superior a 65 anos (28 pessoas), com igual divisão entre sexo, conforme se observa na Tabela 1. O grupo de pessoas jovens possui média de idade de 40 anos, e o grupo de pessoas idosas possui idade média de 71 anos (El-Shawarby *et al.*, 2006; Kulkarni, 2006).

Tabela 1 - Composição da amostra de motoristas, por gênero e idade.

Gênero	Idade		Total
	< 65 anos	≥ 65 anos	
Masculino	16	14	30
Feminino	16	14	30
Total	32	28	60

3.1. Procedimento para coleta de dados

O cruzamento usado nos testes fica localizado num trecho de rodovia de pista simples de 2,6 km de extensão, com retornos em cada extremidade e com declividade média de 3%. Os participantes, após familiarizarem-se com o veículo de testes, foram instruídos a dirigir normalmente pela pista, mantendo uma velocidade de 45 mi/h (72 km/h). Para a coleta de dados, cada participante dirigiu 12 vezes pelo circuito de 2,6 km, passando 24 vezes pelo cruzamento semaforizado. Durante a coleta de dados, o veículo de testes trafegava sozinho na pista. Durante a aproximação ao cruzamento semaforizado, a mudança do verde para o

amarelo dava-se em função da distância do veículo à faixa de retenção. A posição do veículo era determinada por GPS diferencial (precisão de 1,5 cm) e, quando o carro atingia uma das cinco distâncias predeterminadas, o controlador poderia acionar a mudança de fase. As distâncias de ativação do amarelo (DAA) escolhidas foram 32, 55, 66, 88 ou 111 m da faixa de retenção. Nas 24 passagens pelo cruzamento, cada participante defrontou-se com quatro mudanças de fase em cada DAA, totalizando 20 ativações do amarelo, e encontrou verde em quatro ocasiões. Informações mais detalhadas sobre a coleta de dados podem ser obtidas em Rakha *et al.* (2007).

3.2. Tratamento dos dados

O DAS usado é capaz de registrar dados a cada décimo de segundo. Os dados coletados incluíam a posição do veículo, a distância viajada durante o último décimo de segundo, a posição do veículo em relação à faixa de retenção, a velocidade instantânea, o deslocamento dos pedais do acelerador e do freio, a indicação do semáforo, o tempo decorrido desde o início do amarelo, etc., totalizando 78 seqüências de dados capturados pelo DAS.

No tratamento dos dados, inicialmente foram separados os dados dos motoristas que pararam quando defrontados com a indicação da fase amarela. Em seguida, uma suavização foi aplicada aos dados, usando um filtro média móvel de janela igual a 21, considerando os 10 décimos de segundo anteriores e posteriores ao décimo de segundo analisado.

Após a suavização, os dados foram estratificados em função da DAA e agrupados em função dos fatores idade, gênero e declividade, para permitir a análise da influência destes fatores no comportamento dos motoristas. Para tanto, aplicou-se o teste ANOVA de fator único, com hipótese nula de que não há diferença entre as médias dos grupos avaliados.

4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS

4.1. Zona de Opção e Zona de Dilema

Um aspecto investigado foi a ocorrência de zonas de dilema e opção para o cruzamento. Para isto, foram calculadas as distâncias *SSD* e *CCD*, usando as fórmulas (1) e (2), com declividade *m* de 3%, tempo de amarelo τ de 4 s, comprimento do veículo *l* de 5,09 m, tempo de percepção e reação δ de 0,9 s (Chang *et al.* 1985), largura da via transversal *w* de 10,20 m, e coeficiente de atrito $f = 0,60$ (Kulkarni, 2006). A Figura 3 mostra como a existência de ZO ou ZD pode ser determinada a partir de *SSD* e *CCD*:

$$\text{Se } CCD \begin{cases} < SSD, & \text{então existe uma ZD;} \\ \geq SSD, & \text{então existe uma ZO.} \end{cases} \quad (3)$$

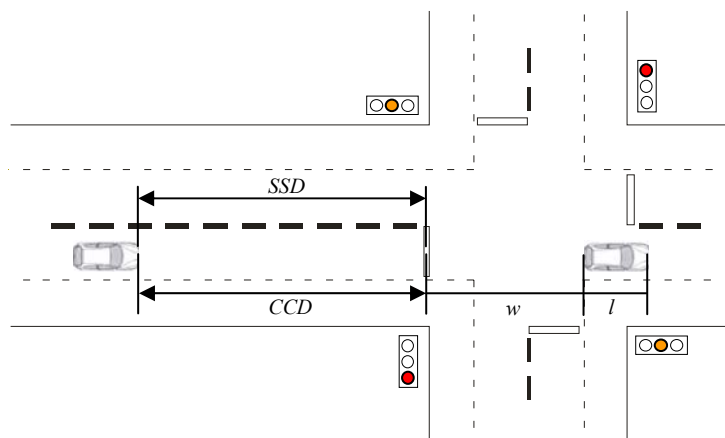


Figura 3 – Determinação das zonas de opção e dilema

A velocidade de aproximação V usada na verificação da existência de ZD ou ZO foi de 72 km/h, baseada na análise distribuição das velocidades de aproximação dos veículos que pararam no instante da mudança de fase para o amarelo, que está resumida na Tabela 2. Para cada DAA, determinou-se o intervalo de confiança, para 95% de nível de confiança, da velocidade média neste instante, os resultados mostram pouca variação em torno de 72 km/h.

Tabela 2: Velocidades médias de aproximação no momento da mudança para a fase amarela (km/h)

DAA	Amostra	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança	
				Limite inferior	Limite superior
32 m	20	68,3	6,4	65,4	71,0
55 m	141	72,5	3,6	70,9	74,1
66 m	197	73,5	3,3	72,1	74,9
88 m	228	73,7	3,2	72,3	75,1
111 m	233	73,9	3,4	72,4	75,4

Para as condições adotadas, independentemente da passagem do veículo ocorrer no aclave ou declive, foi constatada a existência de uma zona de opção. No aclave, a zona de opção tem 14,3 m de extensão, iniciando-se a 64,7 m da faixa de retenção e terminando a 50,3 m da faixa de retenção. No declive, sua extensão é 10,9 m e os pontos de início e fim situam-se, respectivamente, a 64,7 m e 53,8 m da faixa de retenção.

Pode-se notar que a DAA de 55 m se encontra dentro da zona de opção. Observa-se que, das 240 vezes que os motoristas defrontaram-se com uma mudança para amarelo nesta distância, em 141 vezes eles optaram por parar (58,8%) e em 99, por prosseguir, o que confirma a existência da zona de opção. Para a DAA de 66 m, os motoristas decidiram parar em 197 das 240 passagens pelo cruzamento (82,0%). Isto indica que a maioria dos motoristas optou corretamente por parar na interseção; os motoristas que decidiram prosseguir mantendo a velocidade de 72 km/h, teoricamente, não conseguiriam cruzar a interseção antes do final da fase amarela. Para as DAAs de 88 m e 111 m, as porcentagens de parada foram 95,0% e 97,1%, respectivamente, conforme esperado, já que a mudança para amarelo ocorre quando o veículo está bem distante do cruzamento.

4.2. Análise da posição de parada em relação à faixa de retenção

A posição final do veículo em relação à faixa de retenção pode indicar se a decisão de parar foi correta; idealmente, o carro não deve transpor a faixa de retenção, mas deve se posicionar próximo a ela. Neste estudo, considerou-se que o veículo parava quando sua velocidade era menor ou igual a 3,6 km/h e a posição do veículo, em relação à faixa de retenção, foi determinada para este instante. Quando a posição de parada ficava após a faixa de retenção, considerou-se que o veículo estava invadindo o cruzamento. Nas 819 paradas analisadas, foi observada maior quantidade de invasões nas DAAs menores, conforme pode ser visto na Tabela 3. Com a DAA de 32 m, em 17 dos 20 casos observados os motoristas pararam após a faixa de retenção.

Tabela 3: Número de paradas (em 240 possíveis) e invasões observadas em cada DAA

DAA (m)	Número de paradas	% de paradas	Invasões	% de invasões nas tentativas de parada
32	20	8,3%	17	85,0%
55	141	58,8%	72	51,1%
66	197	82,0%	71	36,0%
88	228	95,0%	36	15,8%
111	233	97,1%	18	7,7%

As posições de parada dos veículos em relação à faixa de retenção, para cada DAA, são apresentados na Figura 4; valores negativos na ordenada representam a extensão, em metros, da invasão do pára-choque dianteiro do veículo em relação à faixa de retenção. Valores positivos indicam que a parada foi realizada antes da faixa de retenção. Percebe-se que, quanto maior a DAA, mais próximo da faixa de retenção os veículos pararam, pelo maior controle da situação.

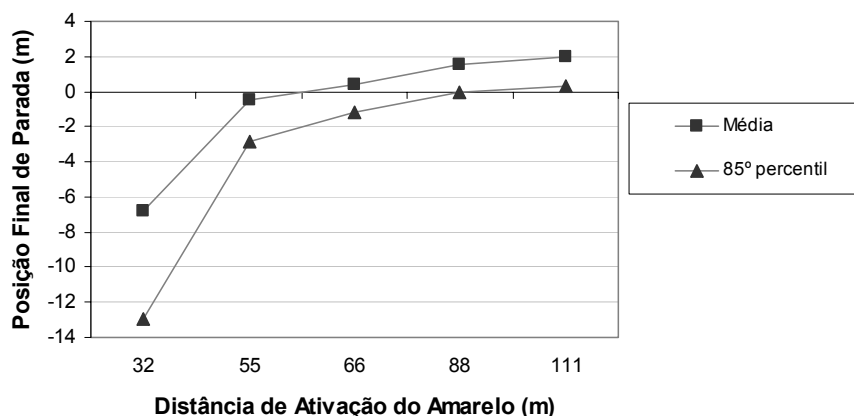


Figura 4: Posição final de parada dos veículos em relação a faixa de retenção

Nas análises subseqüentes, as observações referentes à DAA de 32 m foram deixadas de fora, pois, em condições normais, os motoristas deveriam prosseguir, tendo em vista sua velocidade e a pequena distância até a interseção. As observações relativas à DAA de 55 m foram incluídas nas análises, pois uma parcela significativa dos motoristas (59%) optou por parar. Para a DAA de 55 m, foi constatada invasão média de 0,50 m; o 85º percentil corresponde a uma invasão de 2,88 m. Para a DAA de 111 m, um veículo a 72 km/h (20 m/s)

não seria capaz de cruzar a interseção antes do final do amarelo, cuja duração era de 4 s; portanto, todos os motoristas deveriam parar sem invadir o cruzamento, pois a distância de frenagem (*SSD*) correspondente é 53,8 m.

A Figura 5 apresenta médias e 85º percentis para a posição de parada em função do gênero dos motoristas, da sua idade e da declividade da via. A Figura 5 (a) indica que os motoristas idosos tendem a ser mais cuidadosos que os mais jovens, invadindo menos o cruzamento. A Figura 5 (b) sugere que o gênero do motorista não influi na posição final de parada. A Figura 5 (c) indica que, no declive, quando a DAA é pequena (55 e 66 m), ocorrem maiores invasões, em relação ao que se observa para o aclave. Isso é esperado e pode ser explicado pela menor distância de frenagem no aclave.

Os histogramas da Figura 6 sugerem que a posição de parada obedeça a uma distribuição normal. Esta suposição foi confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov [55 m: $d = 0,14$; $dc = 0,26$ / 66 m: $d = 0,17$; $dc = 0,26$ / 88 m: $d = 0,15$; $dc = 0,29$ / 111 m: $d = 0,13$; $dc = 0,26$]. A quantidade de observações em cada amostra e um resumo dos valores obtidos para a posição de parada dos veículos em relação à faixa de retenção em cada DAA encontram-se na Tabela 4.

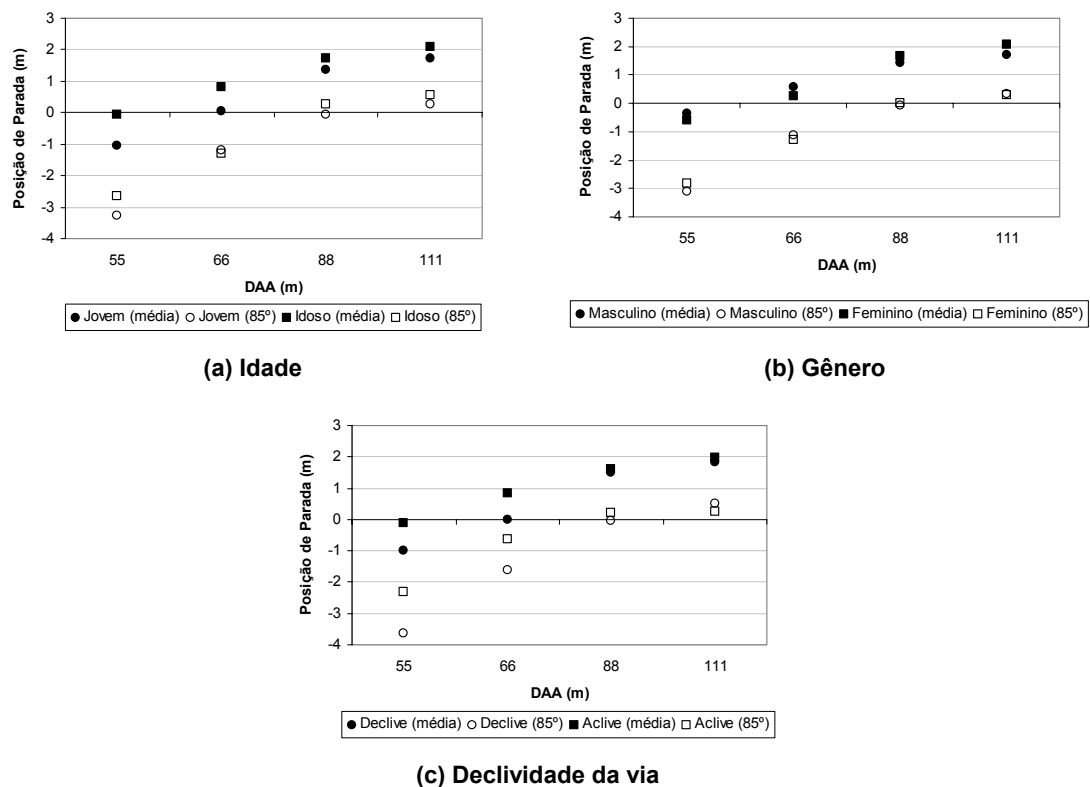


Figura 5: Comparação do efeito da idade, gênero e declividade da via na posição final do veículo em relação à faixa de retenção

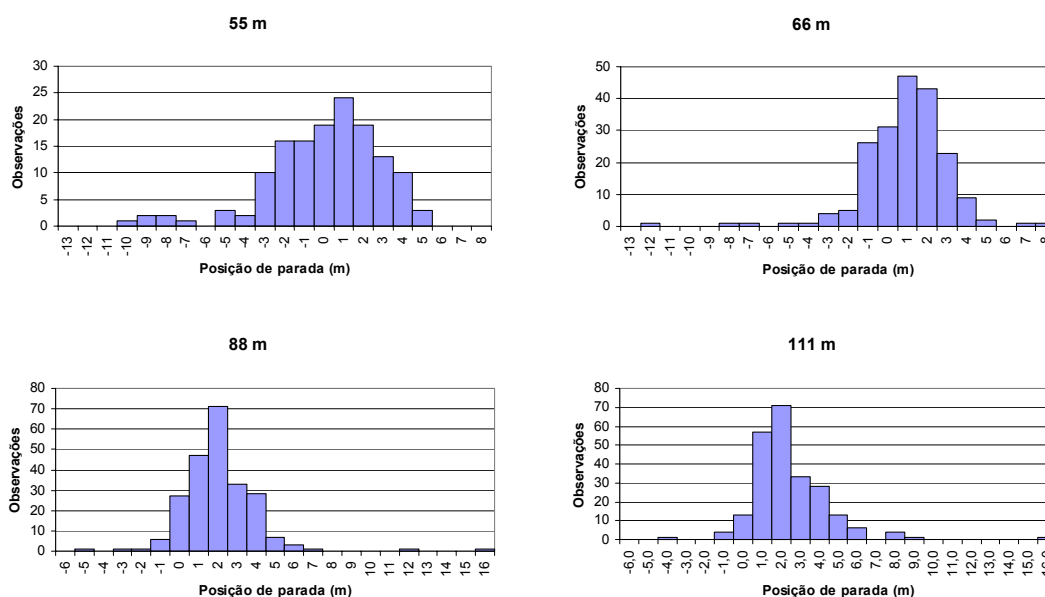


Figura 6: Distribuição dos dados de posição de parada observados, para cada DAA.

Tabela 4: Principais valores obtidos para a posição de parada na interseção (m)

DAA	Amostra	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo de confiança		85º Percentil
55 m	141	-0,50	2,87	4,77	-10,40	-0,98	-0,03	-2,88
66 m	197	0,42	2,20	7,23	-12,97	0,11	-0,73	-1,22
88 m	228	1,54	1,92	15,01	-5,08	1,29	1,79	-0,04
111 m	233	1,90	1,95	15,01	-4,87	1,64	2,15	0,28

4.3. Análise do efeito da idade, gênero e declividade sobre a posição de parada

Para verificar o efeito, sobre a posição final do veículo, da idade dos motoristas, do seu gênero e da declividade da via, foram usados testes ANOVA de fator único, cujos resultados estão resumidos na Tabela 5. Em relação à idade, as observações sobre a posição de parada foram agrupados em jovens e idosos; em relação ao gênero, em homens e mulheres; e, em relação à declividade da via, em paradas em declive e em active. As observações referentes à DAA de 111 m foram deixadas de fora da análise, pois, conforme já mostrado, é impossível que um veículo a 72 km/h consiga cruzar a interseção antes do final do amarelo. Os resultados dos testes apontam para a influência estatisticamente significativa do fator idade. Os fatores gênero e declividade da via não mostram diferença estatística significativa sobre a posição de parada dos veículos; exceto para o fator declividade na DAA de 66 m.

Tabela 5: Resultados da análise de variância

DAA	Fator		
	Idade	Gênero	Declividade da via
55 m	F(1,139) = 4,17; p = 0,04	F(1,139) = 0,24; p = 0,63	F(1,139) = 3,14; p = 0,08
66 m	F(1,195) = 6,30; p = 0,01	F(1,195) = 1,01; p = 0,32	F(1,195) = 7,68; p = 0,01
88 m	F(1,226) = 4,51; p = 0,03	F(1,226) = 2,38; p = 0,12	F(1,226) = 1,07; p = 0,30

Ainda que, para a declividade da via, as probabilidades encontradas indiquem apenas diferença estatística na DAA de 66 m com 95% de confiança, percebe-se, na Figura 5 que a

posição de parada, no declive, tende a apresentar maior invasão do cruzamento.

A comparação com combinação dos três fatores nas DAAs estudadas (que resulta na formação de oito grupos formados com os diferentes níveis de cada um dos três fatores) apresentou diferença estatística entre os grupos [55 m: $F(7,133) = 2,63$, $p = 0,014$; 66 m: $F(7,189) = 3,82$, $p < 0,001$; 88 m: $F(7,255) = 2,08$, $p = 0,046$]. O teste Tukey-Kramer identificou para a DAA de 55 m diferença estatística entre motoristas em função dos grupos jovem/feminino/declive e idoso/masculino/active. Para a DAA de 66 m foram observadas diferenças entre os grupos compostos por fatores referentes a declividade e a idade, o que remete às análises apresentadas na Tabela 5. A DAA de 88 m também refletiu a diferença observada em relação ao fator idade nas análises considerando apenas fatores únicos, logo, se observou diferença entre os grupos de motoristas dos grupos jovem/masculino/declive e idoso/masculino/active.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de caracterizar o comportamento dos motoristas frente à decisão de parar na interseção foi atingido. Foi identificado que os motoristas quando colocados em situação de elevada ansiedade, como a decisão entre parar ou prosseguir em interseção semaforizada com velocidade de aproximação elevada, tendem a adotar o comportamento esperado. Mesmo assim, aproximadamente 20% dos motoristas com DAA de 66 m decidiram prosseguir, quando o mais indicado para sua segurança seria parar.

Neste estudo – considerando fator de atrito f da pista de teste 0,6 e velocidade de aproximação de 72 km/h –, os cálculos indicaram a criação de zona de opção incluindo a DAA de 55 m, o que foi comprovado em campo pela proximidade no número de motoristas que decidiram parar (58,8%) e passar (41,2%) pela interseção. Foi determinado que a extensão da invasão do cruzamento é inversamente proporcional à distância de ativação do amarelo: quanto mais perto do cruzamento os veículos se encontravam no instante da mudança de fase, mais para dentro do cruzamento sua posição final. Os dados de posição de parada dos veículos seguem distribuição normal e, considerando as DAAs de 55, 66 e 88 m, apresentaram diferença estatística entre grupos no fator idade na ANOVA. Os fatores gênero e declividade (3% no active e no declive) não apresentaram diferenças estatísticas significativas; exceto para o caso específico da declividade na DAA de 66 m. Portanto, há evidência que um grupo de motoristas – em função da idade – apresente comportamento crítico para a operação da via, cabendo aos motoristas jovens uma maior agressividade em relação à sua posição final de parada na interseção. A combinação entre os três fatores também indicou diferença estatística, porém, percebe-se claramente ser reflexo das diferenças estatísticas encontradas nas análises considerando os fatores únicos independentes. O estudo do comportamento dos motoristas em relação à desaceleração aplicada para parar na interseção está previsto como complemento e sequência a este trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Prof. Hesham Rakha, diretor do Center for Sustainable Mobility do Virginia Tech Transportation Institute, pela cessão dos dados experimentais. O desenvolvimento deste estudo teve suporte financeiro da CAPES e do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRD, J. K.; CHISHOLM, S. L.; EDWARDS, C. J.; CREASER, J. I. (2005). The Effect of Amber Light Onset Time on Older and Younger Drivers TPR and Intersection Behavior. 84th Annual Meeting of the

- Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- CHANG, M.S., MESSER, C.J., SANTIAGO, A.J. (1985). Timing traffic signal change intervals based on driver behavior. *Transportation Research Record*, 1027, 20–30.
- EL-SHAWARBY, I.; RAKHA, H.; INMAN, V. W.; DAVIS, G. (2006). Effect of Yellow-Phase Trigger Distance on Driver Behavior at High-Speed Signalized Intersections. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- GAZIS, D.; HERMAN, R.; MARADUDIN, A. (1960). The Problem of the Amber Signal Light in the Traffic Flow. *Operations Research*, v. 8. Baltimore, Maryland, USA. p. 112-132.
- HICKS, T.; TAO, R.; TABACEK, E. (2005). Observations of Driver Behavior in Response to Yellow at Nine Intersections in Maryland. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- INMAN, V. W.; DAVIS, G.; EL-SHAWARBY, I.; RAKHA, H. (2006). Field and Driving Simulator Validations of System for Warning Potential Victims of Red-Light Violators. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- IPEA (2003). Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas - Síntese da Pesquisa. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. 21 p.
- ITE (1992). *Traffic Engineering Handbook*. Institute of Transportation Engineers. 4ª edição. Editor: PLINE, J. Cap. 2 - Traffic and Vehicle Operating Characteristics. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA.
- KULKARNI, R. (2006). Modeling Typical Driver Acceleration Behavior. Dissertação (Mestrado). Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg, Virginia, USA. 57 p.
- MCCOY, P.; PESTI, G. (2003). Dilemma Zone Protection on High-Speed Signalized Intersection Approaches: Advance Detection Versus Advance Warning Flashers and Advance Detection. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- MILLAZO, J.; HUMMER, J.; ROUPHAIL, N.; PROTHE, L.; MCCURRY, J. (2002). The Effect of Dilemma Zones on Red Light Running Enforcement Tolerances. 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB. Washington, D. C., USA.
- PANT, P.; CHENG, Y. (2001). Dilemma Zone Protection And Signal Coordination At Closely-Spaced High-Speed Intersections. Technical Report OH-2001/12. Ohio Department of Transportation, Federal Highway Administration. University of Cincinnati, OH, Ohio.
- PANT, P.; CHENG, Y.; RAJAGOPAL, A.; KASHAYI, N. (2005). Field Testing And Implementation Of Dilemma Zone Protection And Signal Coordination At Closely-Spaced Highspeed Intersections. Technical Report OH-2005/006. Ohio Department of Transportation, Federal Highway Administration. University of Cincinnati, OH, Ohio.
- PAPAIOANNOU, P. (2007). Driver Behaviour, Dilemma Zone and Safety Effects at Urban Signalised Intersections in Greece. *Accident Analysis & Preventions*, v. 39. p. 147-158.
- RAKHA, H.; EL-SHAWARBY, I.; SETTI, J. R. (2007). Characterizing Driver Behavior on Signalized Intersection Approaches at the Onset of a Yellow-Phase Trigger. Artigo aceito para publicação no *IEEE Transactions in Intelligent Transport System*.
- SHEFFI, Y.; MAHMASSANI, H. (1981). Model of Driver Behavior at High Speed Signalized Intersections. *Transportation Science*. Vol 15, nº1, Feb. p. 50-61.
- SHINAR, D.; COMPTON, R. (2004). Aggressive driving: an observational study of driver, vehicle, and situational variables. *Accident Analysis & Preventions*, v. 36. p. 429-437.
- YAGER, R. R.; KIKUCHI, S. (2004). On the Role of Anxiety in Decisions Under Possibilistic Uncertainty. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*. Vol 34, nº. 2, April.

Endereço dos autores:

Diogo Artur Tocacelli Colella (diogoatc@sc.usp.br)
 Prof. Dr. José Reynaldo Setti (jrasetti@usp.br)
 Universidade de São Paulo
 Departamento de Engenharia de Transportes
 Av. Trabalhador São-carlense, 400
 13566-590 – São Carlos, SP