

SP 01/08/92

NT 148/92

Tempo de Reação para Frenagem de Motoristas Não Alertados***George T. Taoka*****Tradução: Eng.º Gilberto Monteiro Lehfeld***

O conhecimento da distribuição estatística do tempo de reação para frear de um motorista é da maior importância para os profissionais de Engenharia de Tráfego.

Uma estimativa de tempo percepção/reação é necessário para calcular distâncias seguras de parada; o valor atual de projeto é de 2,5 segundos*. A fórmula também requer um valor para determinar a duração do intervalo de amarelo nos cruzamentos semaforizados; a duração recomendada atualmente é estimada em 1,0 segundo*. Estas estimativas de tempos são usadas para igualar ou superar o 85º percentil de tempo de reação para frear de todos os motoristas.

Recentemente, Agent* e Morales*, adotaram um tempo de reação para frear de 1,5 segundo no cálculo das distâncias de parada.

Muitas experiências envolveram testes com motoristas que foram previamente avisados que seus tempos de reação para frear seriam registrados. Por isso, esses estudos medem os tempos de reação para frear em condições preestabelecidas, cujos valores são menores do que os que seriam esperados sob condições normais de direção. Os valores que se aproximam mais do modo de dirigir em condições normais são aqueles medidos com motoristas que não sabem que estão sendo testados e que não foram alertados de quando seriam solicitados a frear. Neste artigo são analisados e tabulados os valores paramétricos de quatro investigações publicadas.

(*) Artigo publicado no ITE Journal, em março de 1989, sob o título original "Brake Reaction Times of Unalerted Drivers.

(*) O autor George T Taoka é professor de engenharia civil na Universidade do Havai, em Manoa, e é membro associado do ITE. É engenheiro civil registrado no Havai e na Califórnia e trabalha como consultor na análise de acidentes de trânsito. Obteve M.S e Ph.D da Universidade de Ilinoís.

(*) Traduzido pelo consultor Eng.º Gilberto Monteiro Lehfeld da Superintendência de Projetos (SPR).

Estudos Experimentais de Motoristas Não Alertados

Um dos primeiros estudos sobre motoristas não alertados foi registrado por Gazis et alii, que mediu tempo de reação para frear de 87 motoristas que se aproximavam de um cruzamento sinalizado, determinando o tempo entre o aparecimento do sinal amarelo e o acendimento das luzes de freio no veículo*.

Todos os veículos estavam a menos de 61 metros (200 pés) de distância do cruzamento quando suas luzes de freio foram acionadas. O valor médio foi 1,14 segundo e sua distribuição é mostrada na Figura 1. Mais recentemente, Probst e colegas mediram o tempo de reação de um grupo de motoristas em experimentos de seguimento de veículos e também obtiveram uma média de 1,14 segundo*.

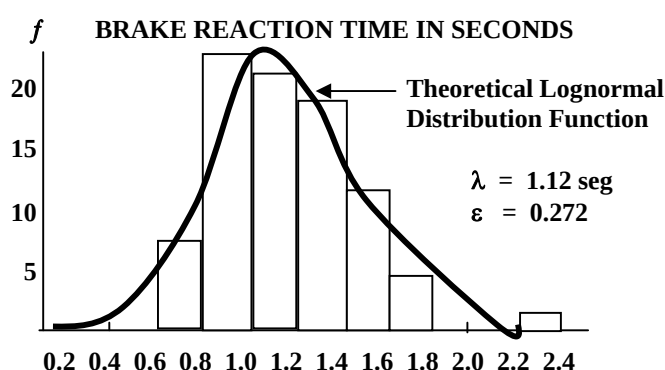
Dois experimentos envolvendo amostras de grande número foram os de Wortman & Mathias e os de Chang et alii*. Ambos mediram o tempo de reação do motorista no começo do sinal amarela. Os

veículos estavam geralmente a 128 metros (400 pés) de distância do cruzamento quando suas luzes de freio foram acionadas. Estes intervalos de aproximação são cerca do dobro de tamanho daqueles utilizados no experimento de Gazis et alii*.

Wortman & Mathias testaram 839 motoristas e descobriram um tempo de reação médio de aproximadamente 1,3 segundo, com um desvio padrão de aproximadamente 0,6 segundo*. O tempo de reação do 85º percentil foi aproximadamente de 1,8 segundo.

As medidas foram registradas em seis diferentes cruzamentos, e, em cada local, produziram diferentes valores para os parâmetros estatísticos. Os valores médios variaram de 1,09 a 1,55 segundo, o desvio padrão variou de 0,44 a 0,82 segundo, e os valores de 85º percentil, variaram entre 1,5 e 2,1 segundos, em diferentes locais geográficos.

Figura 1 - Tempo de Reação para Frenagem, cf. Gazis et alii.



Chang et alii testaram 579 motoristas e determinaram os valores das medianas em 1,1 e 1,3 segundo respectivamente*. O 85º percentil de tempo de reação foi estimado em cerca de 1,9 segundo, enquanto o 95º percentil foi estimado em aproximadamente 2,5 segundos.

Um outro aspecto interessante desta pesquisa é o de que o tempo de reação de motoristas dirigindo em alta velocidade, aproximando-se do cruzamento numa velocidade maior que 64 Km/h (40 mph), foi menor que os dos motoristas dos outros exemplos. A mediana do tempo de reação dos motoristas que dirigiam em alta velocidade foi de 0,90 segundo, e os seus 85º percentil variaram entre 1,1 e 1,3 segundo. Os autores sugerem a existência de lapso de tempo não identificado em seus dados, cujo valor médio foi estimado em aproximadamente 0,1 segundo.

Indicaram que, o que parece ser o 85º percentil no valor da resposta em suas medidas, pode estar mais perto do 90º ou 95º percentil do valor do verdadeiro tempo de reação para frear, se o efeito do lapso de tempo de resposta for abandonado.

A maior amostra dos tempos de reação para frear foi registrado por Sivak e colegas*. Foram registrados para motoristas não avisados, que estavam seguindo um veículo de teste, enquanto eram seguidos por um veículo que os monitorava. Os espaços interveiculares eram de um a dois carros de distância para velocidades entre 32 e 40 Km/h, e de três a cinco carros de distância para velocidades entre 56 e 72 Km/h. Coletaram 1.644 dados e registraram somente aqueles com tempo de reação para frear de menos de três segundos.

Setenta e dois por cento dos motoristas responderam dentro deste valor. O valor médio de 1,21 segundo, com um desvio padrão de 0,63 segundo. A distribuição estatística do tempo de reação para frear desta experiência, será estimada pelo modelo da densidade de probabilidade lognormal.

Modelo de Densidade de Probabilidade Lognormal

A função de densidade de probabilidade $f(t)$ do tempo de reação t é lognormalmente distribuída se a variável padronizada z , definição pela equação $z = \frac{\ln t - \ln \lambda}{\varepsilon}$ (1)

for normalmente distribuída com o valor médio de 0,0 segundo e desvio padrão de 1,0 segundo. Se λ = mediana, μ = valor médio e σ = o desvio padrão da reação t , então o parâmetro de dispersão ε é dado pela fórmula:

$$\varepsilon^2 = \ln \left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2} \right) \quad (2)$$

A função de distribuição cumulativa da probabilidade de $F(t)$ é dada por:

$$F(t) = \int_0^t f(\gamma) d\gamma \quad (3)$$

O parâmetro de dispersão é relacionado aos valores de média e mediana pela relação:

$$\frac{1}{2} \varepsilon^2 = \ln \mu - \ln \lambda \quad (4)$$

O parâmetro de dispersão ε é uma medida de variabilidade dos dados ao redor do valor médio e ligado ao coeficiente de variação dos dados*. O coeficiente da variação dos dados é o quociente do desvio padrão dividido pelo valor médio dos dados. Consequentemente, a fórmula para o coeficiente de variação é:

$$\frac{\sigma}{\mu} \quad (5)$$

A função lognormal da densidade de probabilidade foi usada para modelar os dados sobre o tempo de reação para frear devido ao fato de que sua inclinação ou falta de simetria em relação à mediana λ , torna-a muito próxima da real falta de simetria apresentada pelos dados de tempo de reação para frear. Esta falta de simetria é graficamente mostrada na Figura 1.

Ajustando o Modelo Lognormal aos Dados Experimentais

A relação existente entre a mediana, a média, o desvio padrão e os parâmetros de dispersão são indicados através das equações 1 e 4. Somente dois valores, a média e o desvio padrão, são independentes. A mediana e o parâmetro de dispersão são valores dependentes e podem ser obtidos pela média e pelo desvio padrão.

Os valores calculados destes parâmetros estatísticos, para os quatro grupos de dados experimentais anteriormente descritos, estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativas Paramétricas de Dados Experimentais

Pesquisadores	Ref.	Mediana λ	Média μ	Desvios Padrão σ	Dispersão Paramétrica ξ
Gazis et alii	(5)	1.12	1.14	0.32	0.27
Wortman et alii	(7)	1.14	1.30	0.60	0.44
Chang et alii	(8)	1.10	1.30	0.74	0.53
Sivak et alii	(9)	1.07	1.21	0.63	0.49

O teste de Kolmogorov-Smirnov, que mede o valor absoluto do desvio entre o valor do modelo e o valor experimental, foi usado para testar a qualidade do ajuste entre o modelo lognormal e os dados de Gazis et alii. A figura 1 mostra que o modelo lognormal de densidade de probabilidade ajusta-se muito bem aos dados. (o teste Kolmogorov-Smirnov é explicado na referência*).

Os 15°, 85°, 90°, 95° percentis do tempo de reação para frear estimados para os dados experimentais, são apresentados na Tabela 2. As estimativas completas dos percentis estimados para os dados de Sivak e colegas, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 2. Estimativas de Tempo de Reação para Frear

Pesquisadores	Ref.	Valores de Percentil (Seg)				
		15°	50°	85°	90°	95°
Gazis et alii	(5)	0.84	1.12	1.48	1.59	1.75
Wortman et alii	(7)	0.72	1.14	1.80	2.01	2.35
Chang et alii	(8)	0.64	1.10	1.90	2.16	2.50
Sivak et alii	(9)	0.65	1.07	1.78	1.01	2.40

Tabela 3. Tempos de Reação para Frear, de Sivak e colegas

Percentil	Tempo de Reação (Seg)	Percentil	Tempo de Reação (Seg)
5°	0.48	60°	1,21
10°	0.57	70°	1,39
15°	0.65	80°	1,62
20°	0.71	85°	1,78
30°	0.83	90°	2,01
40°	0.95	95°	2,40
50	1.07		

É interessante notar que as estimativas para o 95° percentil dos quatro grupos de dados não excedem o valor de projeto de 2,50 seg., para o tempo de percepção/reação usado no cálculo de distância de parada do American Association of State Highway and Transportation Officials.

Conclusões

Todas as quatro investigações experimentais produziram medidas de tendências centrais que estavam próximas. As medianas variaram de 1,07 a 1,14 seg., enquanto os valores médios ficaram entre 1,14 e 1,30 seg. Os desvios padrão estimados apresentaram uma maior variação, com a maior estimativa, de 0,74 seg., sendo mais que o dobro do valor menor, de 0,32 seg. O número menor de amostras de Gazis et alii* resultou no intervalo restrito, quando comparado com outras amostras analisadas. O desvio padrão das três maiores amostras, situados entre 0,60 e 0,74 seg. são tão próximos que suas diferenças podem ser explicadas pelo espalhamento estatístico dentro do

conjunto de dados. É geralmente aceito que grandes amostras exibam maior variabilidade dentro dos dados que as amostras menores.

Nos exemplos de Wortman & Mathias* e de Chang et alii*, foram registradas as reações dos motoristas ao início do sinal amarelo. As distâncias de aproximação, onde foram medidas as reações, foram de quase 120m (400 pés) de distância dos cruzamentos. Sob estas circunstâncias, poderia-se esperar que muitos motoristas freassem seus veículos de maneira vagarosa para poder parar. Chang et alii, sugeriram que um intervalo de tempo não identificado poderia estar presente em seus dados, com uma mediana da ordem de 0,1 seg. de duração. A diferença de 0,07 seg. entre o valor máximo de 1,14 seg. e de valor médio de 1,07 seg. de Sivak e seus colegas, é bem aproximado do valor de 0,10 seg., sugerido no intervalo de tempo não identificado e nos dados de Chang et alii. As medidas de tempo de reação, publicadas por Sivak e colegas*, provavelmente estimaram mais aproximadamente o verdadeiro tempo de reação para frear do que as outras três investigações. Um motorista em uma sequência de carros tem menor oportunidade de antecipar a reação do carro à sua frente do que um motorista que se aproxima do cruzamento em antecipar quando o sinal verde mudará para o amarelo.

O tempo de reação estipulado em 1,0 seg., recomendado para calcular a fórmula de intervalo* de mudança do sinal amarelo, pode ser insuficiente e um valor de 1,8 seg. pode ser mais representativo para o tempo de reação do motorista do 85º percentil.

A estimativa de tempo de reação de 1,50 seg., usado por Agent* e Morales*, parece representar o 75º percentil do motorista na amostra relatada por Sivak e colegas.

Referências Bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials.

A policy on geometric design of highways and streets. Washington, DC: AASHTO, 1984.

Institute of Transportation Engineers. *Transportation and Traffic Engineering Handbook*. 2. Ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1982.

Agent, K. R. *Guidelines for the use of protected/permissive leftturn Phasing*. ITE Journal, Washington, DC, v.57, n. 7, p. 37 - 42, Jul. 1987.

Morales, Juan M. *Retroflective requirements for traffic signs: a stop sign case study*. ITE Journal, Washington, DC, v. 57, n. 11, p. 25 - 32, Nov. 1987.

Gazis, D., Herman, R., Maradudin, A. *The problem of the amber signal in traffic flow*. Operations Research, Baltimore, v. 8, n. 1, p. 112 - 132, Jan./Feb. 1960.

Probst, T., Krafczyk, S., Braundt, T. *Interaction between perceived self-motion and object motion impairs vehicle guidance*. Science, Washington, DC, v. 224, n. 4649, p. 536 - 538, Aug. 1984.

Wortman, R. H., Matthias, J.S. *Evaluation of driver behavior at sinalized intersections*. In : Transportation Research Board (Ed.). *Highway information systems, visibility and pedestrian safety*. Washington, DC: TRB, 1983. P. 10 - 20 (Transportation Research Record, 904)

Chang, M. S., Messer, C. J., Santiago, A. J. *Timing traffic signal change intervals based on driver behavior*. In: Transportation Research Board (Ed.) *Driver information needs and visibility of traffic control devices*. Washington, DC: TRB, 1985. P. 20 -30. (Transportation Research Record, 1027)

Sivak, M., Olson, P. L., Farmer, K. M. *Radar measured reaction times of unalerted drivers to brake signals*. Perceptual and Motor Skills, Montana, v. 55, n. 2, p. 594, Out. 1982.

Eng.º Gilberto Monteiro Lehfeld (SPR)
Consultor e tradutor: