

A INFLUÊNCIA DA TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA NO COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS

Thiago Soares Figueira

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa de Engenharia de Transportes/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Este trabalho avaliou o impacto, do temporizador semafórico, no comportamento dos motoristas, em uma aproximação, onde existe detecção de avanço ao sinal vermelho, com sistema de fiscalização eletrônica. A pesquisa se justifica, pois os temporizadores estão sendo implantados na cidade do Rio de Janeiro em locais onde exista sistema de fiscalização eletrônica por avanço de sinal. Dessa forma, foram coletados dados em uma interseção antes e depois da instalação de um temporizador. O resultado da análise dos dados apontou para uma redução no número de infrações ao sinal vermelho, além disso, indicou que um elevado número de veículos está freando no final do tempo de verde.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the impact of the green signal countdown display on driver behavior, in a link approach that, has red-running detection with penalty system. This research turned necessary, because several green signal countdown display devices have been installed in Rio de Janeiro. Always at intersections with red-running control. The data was collected at an intersection, before-and-after, a green signal countdown display installation. The results of the data analysis pointed to a reduction of the red-running, and also indicated that a high number of vehicles are choosing, not to cross the intersection, during the last seconds of green time.

1. INTRODUÇÃO

As interseções têm um importante papel na eficiência do funcionamento de uma malha viária. Naquelas controladas por semáforos, os veículos vêm de diversas direções e compartilham o mesmo espaço em intervalos de tempo diferentes. Para que haja uma harmonia entre os fluxos e a sua dispersão seja eficiente, cada vez mais a sincronização semafórica e o controle de tráfego por área são estudados e aperfeiçoados. Ao se deparar com o amarelo na aproximação, os motoristas devem decidir se atravessam a interseção ou param. O fenômeno acontece individualmente em cada motorista, considerando-se condições específicas de velocidade e distância da linha de retenção. Dessa forma, quando dois motoristas consecutivos tomam decisões distintas durante o amarelo, uma colisão traseira pode acontecer. Com o intuito de minimizar os efeitos de congestionamentos e até a quantidade de incidentes, diversas cidades têm implantado os temporizadores semafóricos.

O objetivo deste trabalho é avaliar se o temporizador semafórico influencia o comportamento dos motoristas. Para tanto, foi feita uma análise de variação do tipo “antes e depois” da instalação do temporizador em uma aproximação de uma interseção. Essa aproximação possui sistema de fiscalização de avanço de sinal. E o temporizador funciona nos dez últimos segundos de verde.

2. TEMPORIZADOR SEMAFÓRICO

O temporizador é um equipamento que funciona integrado com o semáforo e tem a função de informar, por meio de um mostrador de contagem regressiva, o tempo restante de determinada etapa do ciclo. Inicialmente, o temporizador surgiu como uma alternativa para alertar os motoristas sobre as mudanças do sinal e evitar que fossem pegos de surpresa com as rápidas modificações de direito de passagem. O seu princípio leva em consideração a dedução lógica de que, se um motorista tem uma informação avançada, as suas tomadas de decisão serão mais fáceis (LUM e HALIM, 2006).

Na maioria dos modelos de temporizador atualmente utilizados, a contagem regressiva é feita através de um *display* eletrônico de *LED* (*Light Emitting Diode*), no qual a cor deve corresponder com a que é exibida pelo grupo focal semafórico (Figura 1). A contagem também pode ser realizada através do apagar de outras luzes. O temporizador sempre tem a função de informar o tempo restante em determinado período de tempo, seja no verde ou no vermelho, afetando o motorista de diferentes formas. No tempo de verde, o temporizador afeta o motorista na transição do estado móvel para o imóvel, enquanto no tempo de vermelho a situação se inverte, o temporizador afeta na transição do estado imóvel para o móvel. Conseqüentemente, os motoristas encaram duas diferentes situações e, assim, cada período deve ser analisado separadamente (CHIOU e CHANG, 2010).

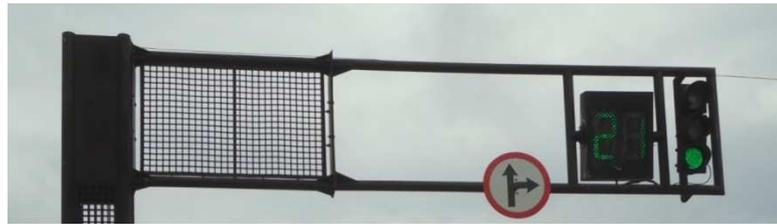


Figura 1: Temporizador semafórico, veicular, com *display* eletrônico de *LED*

Apesar de ter surgido com o objetivo de auxiliar o motorista, o temporizador pode influenciar de maneira negativa em seu comportamento. O *red-running* e *red-stopping* são variáveis de tráfego comumente avaliadas durante pesquisas acerca dos temporizadores.

O *red-running* nada mais é do que a somatória de todos os veículos que ultrapassam a linha de retenção depois do início do tempo de vermelho, ou seja, são os veículos que avançam o sinal vermelho. O avanço ao sinal vermelho pode acontecer por diversas causas, mas geralmente ocorre devido à imprudência de motoristas que, quando ainda estão a certa distância da linha de retenção durante o tempo de amarelo, optam por acelerar e cruzar a interseção ao invés de reduzir a velocidade e frear. Motoristas que passam muito lentos ou optam por cruzar a interseção com retenções no tráfego à montante poderão estar na zona de dilema, onde o motorista ou avança o sinal vermelho ou para o veículo de forma abrupta.

O *red-stopping* é a somatória de todos os veículos que param antes da linha de retenção até logo depois do início do tempo de vermelho, geralmente não mais do que três segundos após. Em outras palavras, o *red-stopping* contabiliza todos os veículos que optam pela parada ao invés de cruzar a interseção no chamado tempo crítico, que se dá desde o final do tempo de verde até os três primeiros segundos do vermelho. Em um sinal convencional, o *red-stopping* acontece quando o tempo de amarelo começa e o motorista opta por parar. No sinal com temporizador este fenômeno é mais frequente justamente devido à presença do *Green Signal Countdown Display* (GSCD), mostrador de contagem regressiva do tempo verde, pois nesse período o motorista tem a informação de quanto tempo resta para a travessia (LUM e HALIM, 2006) e, percebendo o final do verde, muitas vezes opta por reduzir a velocidade e parar ao invés de cruzar a interseção, mesmo que próximo à aproximação ou que tenha de realizar uma freada brusca.

Se a configuração física da interseção permitir, e o motorista estiver atento à sinalização semafórica de pedestres da aproximação conflitante, ele pode optar por parar caso perceba o fim do vermelho piscante dos pedestres (o término da travessia de pedestre da aproximação conflitante, seguida do início do verde dos veículos, indica o fim do verde da aproximação em que está esse motorista). O *red-stopping* também acontece com motoristas mais distantes da

aproximação, que, ao perceberem a eminência do final do tempo de verde, diminuem drasticamente a velocidade a fim de parar e aguardar o próximo tempo de verde. Esse fenômeno é considerado por muitos autores como negativo, pois limita o uso do tempo de verde e torna-se perigoso quando motoristas mais agressivos optam por cruzar a via no final do tempo de verde enquanto os mais conservadores optam por parar. Esse conflito de atitudes e iniciativas pode causar acidentes principalmente com colisões traseiras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo CHIOU e CHANG (2010), tanto o GSCD quanto o *Red Signal Countdown Display* (RSCD), mostrador de contagem regressiva do tempo vermelho, proporcionam a contagem regressiva para os motoristas. Porém, cada qual afeta o comportamento de forma diferente, o GSCD na transição do estado de movimentação para o estático e o RSCD no sentido oposto. Conseqüentemente, os motoristas encaram as duas funções do equipamento em situações completamente diferentes, que podem ser analisadas separadamente.

Vários tipos de GSCD já foram empregados ao longo do tempo. Na década de 20, por exemplo, cinco lâmpadas apagavam conforme o tempo passava. Outro equipamento era um indicador de tempo em formato de relógio circular. Porém cada um desses dispositivos era abandonado quando provada a sua ineficácia no aumento da segurança da interseção, pois os motoristas os utilizavam para acelerar contra o tempo restante. Temporizadores com *display* digital atualmente estão sendo utilizados na China, mas sua operação e eficácia ainda têm de ser provada. Alguns sistemas com sinalização simultânea foram também utilizados, como em Pittsburgh (EUA) nos anos 60, funcionando da seguinte forma: durante 3 segundos a luz verde e a amarela ficavam acesas ao mesmo tempo para alertar o término do verde e depois havia apenas dois segundos de amarelo (LUM e HALIM, 2006).

O verde piscante é utilizado em Israel desde 1960 e funciona durante os últimos 3 segundos de verde. Uma avaliação do método indicou um aumento de indecisão por parte dos motoristas e do número de colisões traseiras. As colisões laterais mudaram muito pouco, assim o número total de acidentes aumentou bastante. Os efeitos deletérios do verde piscante são notados facilmente em aproximações com velocidades mais baixas (LUM e HALIM, 2006). BEHRENDT (1970) apud LUM e HALIM (2006) testou vários tipos de alerta para término de verde na Alemanha: verde piscante, amarelo estável junto com o verde piscante e amarelo piscante alternado com o verde piscante. Em nenhum dos casos a fase amarela deixou de existir, apenas a precederam. O autor da pesquisa ainda concluiu que nenhuma dessas experiências reduziu significativamente o número de acidentes. Em Viena, KNOFLACHER (1973) apud LUM e HALIM (2006) avaliou a desaceleração e o número de acidentes em interseções com verde piscante e comparou com os resultados obtidos nas interseções convencionais.

Através dessa pesquisa, KNOFLACHER (1973) descobriu um aumento na desaceleração dos veículos e colisões traseiras nas interseções que utilizavam o verde piscante. Outra constatação importante é que, apesar de a implantação do verde piscante diminuir as colisões laterais, um aumento no tempo de amarelo poderia proporcionar melhores resultados. LUM e HALIM (2006) citam algumas pesquisas que concluíram, através de simulação, que o amarelo piscante em conjunto com o verde estável é mais eficaz que apenas o verde piscante, pois este proporciona momentos em que nenhuma sinalização está visível. A simulação indicou, ainda, uma redução no número de avanços ao sinal vermelho e menores variações na aceleração dos

veículos nesse período. Porém a zona de dilema (ou de indecisão) aumentou, contribuindo para colisões traseiras.

LUM e HALIM (2006) realizaram um estudo antes e depois que comparou as características de *red-running* e *red-stopping* obtidas antes da instalação do GSCD com os resultados de vários períodos posteriores à instalação: 1,5 meses, 4,5 meses e 7,5 meses. Esses resultados são apresentados na Tabela 1. Para o banco de dados foram gravados quatro dias contínuos em cada período (de domingo à quarta feira), depois organizados e montados para o estudo comparativo.

Tabela 1: Violação média de sinal vermelho para cada mil veículos

Faixa	Antes	1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
3	2,981	0,582	0,661	1,844
4	1,852	0,831	0,710	1,760

FONTE: LUM e HALIM (2006)

Na pesquisa de LUM e HALIM (2006), foi determinado como parâmetro máximo do *red-stopping* a parada antes da linha de retenção, até dois segundos depois de iniciado o vermelho. Dessa forma, foi possível identificar os motoristas que optaram por parar ao invés passar pela interseção naquele momento crítico (ver Tabela 2).

Tabela 2: Incidência média de *red-stopping* a cada mil veículos para cada faixa estudada

Média dos dias da semana	<i>Red-stopping</i> a cada mil veículos			
	Antes	1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
Faixa 3	0,980	5,089	5,033	4,772
Faixa 4	0,659	3,944	4,808	3,304

FONTE: LUM e HALIM (2006)

Na pesquisa de WEI *et al.* (2009), foi estudado o comportamento do motorista em Taiwan, onde o GSCD divide a opinião dos especialistas, alguns são favoráveis e outros desfavoráveis. Os favoráveis alegam que o GSCD pode reduzir drasticamente os avanços ao sinal vermelho e ainda podem reduzir as colisões laterais. Em contrapartida, os desfavoráveis alegam que o GSCD pode aumentar as colisões traseiras entre motoristas tomando diferentes decisões durante a transição do verde para o vermelho. Com o objetivo de adquirir total conhecimento das reações e interações do motorista nos cenários com e sem GSCD, foi feito um estudo aprofundado sobre o assunto. Para esse estudo, os autores testaram diversos cenários onde o temporizador funcionava durante diferentes períodos do ciclo semafórico. O experimento consistiu em medir a velocidade média dos veículos.

A partir da análise dos dados, que avaliou a variação da velocidade média entre os cenários, os autores concluíram que a velocidade média aumenta mais quando o temporizador é utilizado durante todo o tempo de verde, o que é condizente com outros estudos já realizados. Com a contagem regressiva ao longo do verde, os motoristas têm a informação do tempo

restante para travessia, e isso faz com que tenham mais confiança nas suas decisões ao volante. Como os motoristas podem utilizar efetivamente o final do verde, a passagem pela interseção tende a ser feita com maior velocidade de forma inconsciente (WEI *et al.*, 2009).

SPIGOLON (2010) foi quem estudou os temporizadores mais recentemente no Brasil, coletando dados em três cidades do interior de São Paulo: São Carlos, Ribeirão Preto e Piracicaba. Nestes locais, o temporizador é utilizado durante o verde e o vermelho do ciclo semafórico. Na sua avaliação final dos resultados obtidos, conclui que o *headway* médio aumenta em todas as cidades quando utilizado o temporizador, e não há explicação aparente para tal fato. A média de tempo perdido no início, final e total foi menor com a utilização de temporizador para todos os casos.

Apesar de sempre ressaltar que as interseções com temporizador apresentaram maior capacidade, SPIGOLON (2010) utilizou o *headway* médio das interseções sem temporizador em todos os cenários para obter os valores de capacidade. Entretanto, quando utilizado no cálculo o *headway* respectivo de cada cenário, a capacidade das interseções com temporizador fica menor em relação àquelas que não possuem este dispositivo. Não foi justificada a mistura nos valores de *headway*, que nesse caso ocorreu entre três cidades diferentes e entre três tipos de temporizadores. Quanto à segurança, a autora destacou o temporizador como benéfico, pois reduziu o número de acidentes em 35% na cidade de Piracicaba, 34% em São Carlos e 5% em Ribeirão Preto.

4. MÉTODOS DE ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO MOTORISTA

O estudo de uma determinada interseção ou aproximação deve começar pela escolha de uma metodologia que seja adequada para o local de estudo e proporcione resultados satisfatórios, sempre cumprindo o objetivo do trabalho. Nos próximos itens serão apresentados métodos e alternativas para avaliação do temporizador.

4.1 Métodos de avaliação comparativos

Os métodos de comparação mais utilizados em estudos nacionais e internacionais, que podem ser empregados na avaliação e análise do impacto proporcionado pelo temporizador nos motoristas e conseqüentemente no tráfego, são:

- “Com e sem temporizador em uma mesma aproximação” – consiste na avaliação do temporizador em uma interseção através da interrupção do funcionamento ou da retirada do equipamento do local. Portanto é ideal para locais onde o temporizador já está instalado, pode ser empregado também em uma pista de testes.
- “Entre duas interseções/aproximações diferentes” – é uma avaliação do temporizador através da comparação de dados entre dois locais diferentes, sendo um onde o semáforo possui temporizador e outro não. É recomendado que os locais de estudo possuam características semelhantes.
- “Antes e depois do temporizador” – nesse método é necessária a coleta de dados antes da instalação do temporizador. O período da coleta posterior fica a critério do pesquisador. LUM e HALIM (2006) adotaram, por exemplo, 1.5, 4.5 e 7.5 meses depois da instalação do temporizador. É pouco utilizado, em razão da dependência de uma coleta de dados anterior à instalação do equipamento, entretanto, como é avaliada a mesma aproximação apenas com a adição do temporizador no semáforo, esse método permite que seja avaliado somente o impacto desse equipamento nos motoristas e, conseqüentemente, no tráfego.

4.2 Coleta e armazenamento de dados

O método de armazenamento de dados depende do método de coleta de dados e das variáveis a serem obtidas. O mais comum é que sejam realizados simultaneamente de maneira manual, em campo com anotações em planilhas de papel ou contadores manuais, o que contribui para custo de pesquisa mais baixo, porém o processo de preenchimento no campo, em tempo real, torna a pesquisa mais suscetível ao erro humano, além de exigir uma quantidade maior de pesquisadores, dependendo do fluxo de veículos na via, quantidade de movimentos e, no caso de contagem classificatória, diferentes tipos de veículos. Nesse método é necessária a posterior digitalização dos resultados, o que leva tempo e também é sujeita a falhas.

Outro exemplo de coleta e armazenamento de dados simultâneos são os contadores de veículo automáticos, como os de laços indutivos, tubos pneumáticos, radares, entre outros. Esses contadores têm vantagem em relação aos manuais, pois os dados podem ser carregados diretamente a um computador, eliminando assim a etapa de armazenamento de dados. Entretanto exigem maiores recursos e são menos difundidos. O procedimento de filmagem com câmera de vídeo também pode ser utilizado nesse tipo de pesquisa. Dentre os métodos de estudo de tráfego, é um dos que leva mais tempo para análise, porém oferece algumas vantagens:

- todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
- maior confiança nos levantamentos, pois é possível comprovar os dados;
- trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo; e
- podem ser obtidos outros dados de interesse.

O outro fator importante no armazenamento de dados, em uma pesquisa sobre temporizadores, é a escolha das variáveis que vão ser obtidas. Esta escolha deve ser feita com base no objetivo da pesquisa e também, nesse caso, no tipo do temporizador. Quanto às variáveis a serem coletadas, podem ser citados dois exemplos: (i) o *red-stopping* só deve ser avaliado caso o temporizador funcione nos últimos segundos de verde, pois é nesse período que os motoristas têm o conhecimento do tempo restante para a travessia e muitas vezes optam por frear ainda no verde; e (ii) o tempo perdido no início do verde só deverá ser avaliado caso o temporizador funcione no final do tempo de vermelho, quando os veículos recebem a informação do tempo que falta para o início do verde.

5. OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O método de avaliação escolhido para o estudo de caso foi o de comparação dos cenários “antes e depois” da instalação do temporizador em uma determinada aproximação. Este método permite que o impacto do temporizador seja avaliado independentemente de qualquer outro fator, pois quando o estudo é realizado através da comparação de duas aproximações ou interseções diferentes, onde uma possui o mostrador de contagem regressiva (temporizador) no semáforo e a outra não, o padrão de tráfego e a infraestrutura da via dificilmente serão idênticos, aumentando as chances de erro da pesquisa. Além disso, foi possível realizar a avaliação do motorista logo após a instalação do equipamento, quando ainda não estivesse habituado ao seu funcionamento.

5.1 Escolha do local de estudo

Após o início da implantação dos temporizadores em alguns semáforos da cidade do Rio de Janeiro, foi solicitada à CET-Rio a divulgação dos locais onde ainda seriam instalados os temporizadores semafóricos. Todas as interseções com temporizador possuem sistema de fiscalização de avanço de sinal. Dentre as opções, foi escolhida a aproximação da Rua Goiás, na interseção com a Rua Guineza, no bairro Engenho de Dentro. O principal critério para escolha do local de estudo foi a eminente instalação de um temporizador semafórico nesta via, o que possibilitou realizar a coleta de dados antes e depois da implantação do equipamento. A aproximação em questão, antes da instalação do temporizador, pode ser vista na Figura 2 abaixo. Segundo a CET-Rio, o semáforo em questão não contempla o controle atuado semafórico do centro de controle de tráfego. Trata-se de um semáforo pré-programado.

5.2 Escolha do método de coleta de dados

O objetivo do estudo foi a avaliação da influência do temporizador no comportamento do motorista. Partindo do princípio que este dispositivo funciona durante os 10 últimos segundos do tempo de verde, foi escolhido o videoteipe, que proporcionou maior sensibilidade e precisão na pesquisa, pois foi possível analisar cada instante quantas vezes fossem necessárias, avaliando o comportamento dos veículos a cada segundo. As duas filmagens utilizadas para análise foram feitas no mesmo horário, durante o pico da manhã, pois foi o que apresentou o maior volume de veículos entre os períodos avaliados em campo, possibilitando uma melhor percepção do impacto do temporizador no tráfego.

5.3 Método de armazenamento de dados desenvolvido

Para desenvolver um método de armazenamento, por meio do qual os dados coletados pudessem ser aproveitados da melhor maneira possível, primeiramente foi adotado um *software* para a reprodução dos vídeos, chamado Microsoft Expression Encoder 4. Este *software* possui recurso de avanço *frame a frame*, possibilitando analisar cada segundo ou centésimo de segundo dos vídeos. A Figura 2 apresenta a interface do programa reproduzindo um vídeo.

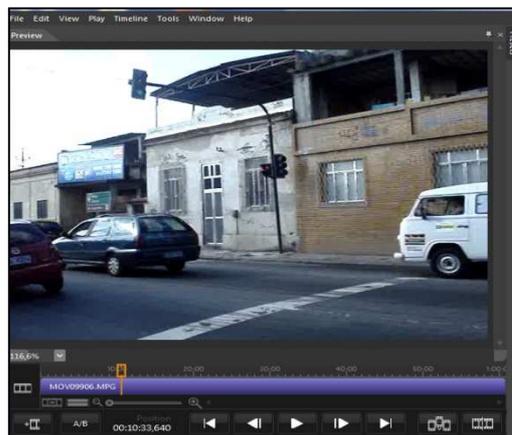


Figura 2: Interface do Microsoft Expression Encoder 4 e aproximação analisada

Os dados foram, então, observados a partir da reprodução dos vídeos e para seu armazenamento foi adotado o *software* Microsoft Office Excel 2007. As variáveis escolhidas para obtenção a partir dos vídeos foram:

- tempo de ciclo, tempo de verde, tempo de amarelo e tempo de vermelho;

- volume total de veículos e volume discriminado por tipo de veículo;
- número de veículos que passaram pela linha de retenção a cada segundo;
- número de veículos parando no tempo crítico (*red-stopping*);
- fluxo de veículos a cada intervalo de cinco segundos;
- histograma com a média de veículos em cada intervalo de cinco segundos para todos os ciclos;
- fluxo de saturação para a interseção e o valor médio para cada faixa, fluxo nos 30 segundos mais carregados;
- taxa de veículos passando e parando no tempo crítico; e
- quantidade de veículos que passaram no amarelo e vermelho.

Conhecendo as variáveis desejadas, foi criado um arquivo no Excel para cada hora de filmagem. O sistema de armazenamento de dados desenvolvido consistiu em criar diversas planilhas, dentro de cada arquivo, de forma que uma determinada planilha interagisse e compartilhasse seus dados com todas as outras. A primeira planilha (Figura 3) de cada arquivo contém uma linha para cada segundo da hora analisada (3600 linhas), contando sempre a partir do início do verde. Em cada linha eram contabilizados os veículos que cruzavam a linha de retenção, da aproximação, no respectivo instante (segundo), além dos veículos que freavam desde os 10 últimos segundos de verde até os três primeiros segundos de vermelho (*red-stopping*). Utilizando os mesmos dados, em outra planilha foi apresentada a somatória desses veículos a cada intervalo de cinco segundos, em todos os ciclos. A partir da média dos intervalos foi criado um histograma de fluxo de veículos de cada intervalo de tempo, através do qual foram obtidos os valores de fluxo de saturação. Outro exemplo de aplicação prática desse sistema de planilhas do Excel foi a sua utilização para o cálculo do tamanho da amostra, desvio padrão e o erro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
			CAR	ONI	VAN	MOT	CAM	TOTAL	CICLO	AUXILIAR	Total de	Red-Stopping	TOTAL
1											veículos		
2	Início do verde	00:00:00						0	Ciclo 1		1969		65
3		00:00:01						0					
4		00:00:02						0					
5		00:00:03	2					2					
6		00:00:04						0					
7		00:00:05						0					
8		00:00:06	3					3					
9		00:00:07	1					1					
10		00:00:08						0					
11		00:00:09	1	1				2					

Figura 3: Planilha Matriz na Interface do Excel

5.4 Resultados obtidos

Como o método de estudo utilizado foi o “antes e depois” da instalação do temporizador, o procedimento de coleta, armazenamento e análise dos dados foi rigorosamente o mesmo. As planilhas utilizadas no Excel são praticamente idênticas, salvo algumas pequenas mudanças em consequência da alteração do tempo de ciclo depois da implantação do temporizador e também do tempo de verde, amarelo e vermelho.

5.4.1 Antes da instalação do temporizador

A filmagem antes da instalação do temporizador foi realizada no dia 25/04/11 das 08h30min às 09h30min, o tempo de ciclo era de 80 segundos, sendo 48 de verde, três de amarelo e 29 segundos de vermelho. No ciclo semafórico não é utilizado o vermelho geral. Foi contabilizado um total de 1889 veículos em uma hora de filmagem sem o temporizador. Foram registrados apenas 19 veículos praticando o *red-stopping* (Figura 4, à esquerda).

Cinquenta e seis (56) veículos optaram por cruzar a linha de retenção no tempo de amarelo, nove passaram durante o tempo de vermelho e cinco nos três primeiros segundos de vermelho (Figura 4, à direita).

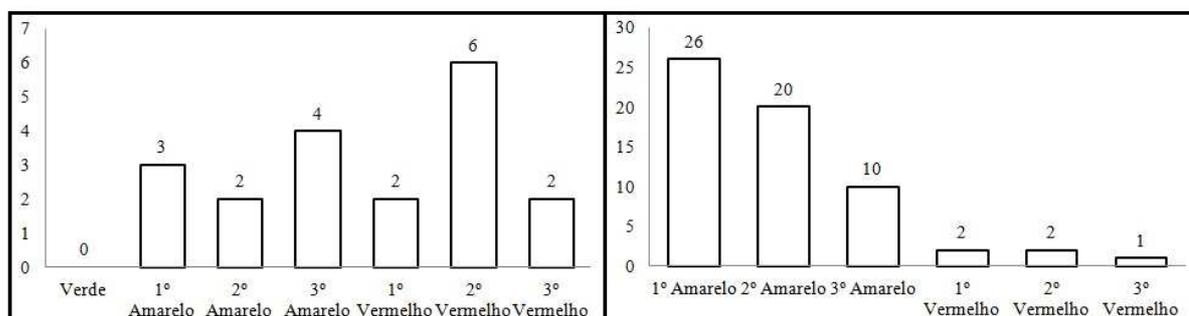


Figura 4: Incidência de *red-stopping* e utilização do tempo de amarelo e vermelho antes do temporizador

5.4.2 Depois da instalação do temporizador

A filmagem depois da instalação do temporizador foi realizada no dia 07/06/11 das 08h30min às 09h30min. O tempo de ciclo foi reduzido para 70 segundos, sendo 42 de verde, quatro de amarelo e 24 de vermelho. No ciclo semafórico não há vermelho geral. Foi contabilizado um total de 1969 veículos em uma hora de filmagem com o temporizador. Sessenta e cinco (65) veículos foram registrados praticando o *red-stopping* (Figura 5, à esquerda). Vinte e seis (26) veículos optaram por cruzar a linha de retenção no tempo de amarelo e quatro passaram por esta durante o tempo de vermelho, sendo apenas dois nos três primeiros segundos de vermelho (Figura 5, à direita).

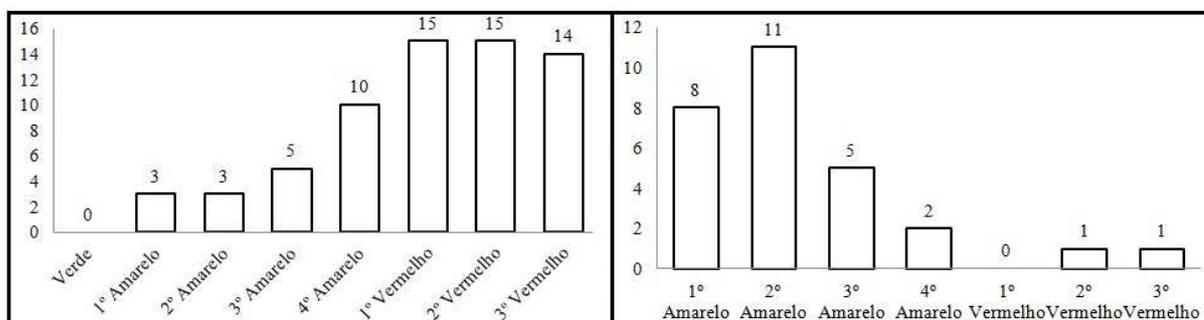


Figura 5: Incidência de *red-stopping* e utilização do tempo de amarelo e vermelho depois do temporizador

Cabe ressaltar que, para desenvolver o gráfico apresentado na Figura 5, no lado esquerdo, foi registrado o instante em que cada veículo concluiu a sua parada. Portanto é possível afirmar que esses veículos iniciaram seu processo de frenagem durante o tempo de verde ou amarelo, em decorrência da informação do tempo de verde restante fornecida pelo temporizador.

5.5 Comparação entre os cenários antes e depois do temporizador

A incidência de veículos freando no final do verde e no amarelo e, conseqüentemente, parando na linha de retenção até o terceiro segundo de vermelho (*red-stopping*) aumentou 3,4 vezes, de 19 para 65 veículos (ver Tabela 3). Em decorrência desse fenômeno (ver Tabela 4) e para que fosse avaliado com mais clareza, foi criado um diagrama espaço/tempo (ver Figura 6, lado esquerdo) baseado na teoria de WEBSTER (1957). Para tal, foi realizada uma nova filmagem, com a câmera de vídeo posicionada em outro ângulo em relação à via (ver Figura

6, lado direito), de maneira que fosse possível perceber o comportamento dos veículos no momento exato da frenagem e passagem de cada veículo durante todo ciclo, principalmente durante o tempo crítico, podendo, assim, avaliar melhor o aumento do *red-stopping*.

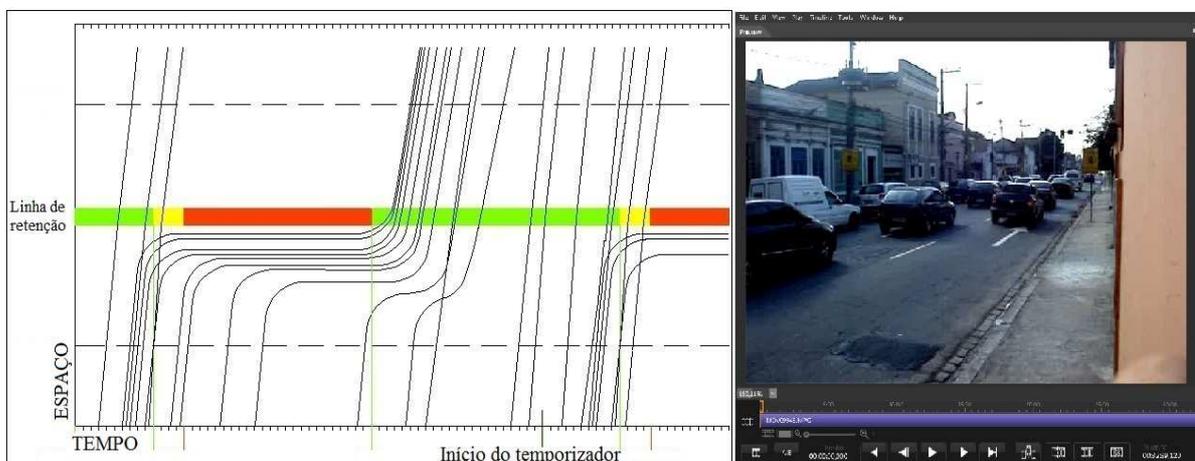


Figura 6: Diagrama espaço/tempo e ângulo de filmagem para captação do instante de frenagem

Para exemplificar como uma colisão pode acontecer, consideremos que dois veículos trafegam consecutivamente numa mesma faixa de tráfego, na velocidade máxima permitida. Caso o primeiro veículo decida parar no final do verde e o segundo veículo decida cruzar a interseção, utilizando os últimos segundos de verde ou o início do amarelo, o segundo veículo poderá colidir na traseira do primeiro ou terá de frear bruscamente para evitá-la.

Tabela 3: Diferença numérica e em porcentagem das variáveis

Variáveis	Sem temporizador	Com temporizador	Diferença (%)
Total de veículos	1889	1969	4,24%
Total de veículos (UCP)	1910	1950	2,1%
Fluxo de saturação	3800	4043	6,39%
Incidência total de <i>Red-stopping</i>	19	65	242,10%
Veículos cruzando no amarelo	56	26	-53,57%
Veículos cruzando no vermelho	9	4	-55,56%
Veículos cruzando no início do vermelho	5	2	-60,0%

Tabela 4: Proporção de incidência do *red-stopping*

Cenário	Taxa de incidência a cada mil veículos	Porcentagem de veículos incidentes por hora
Antes do temporizador	10	1%
Depois do temporizador	33	3,3 %

O volume total de veículos para cada hora avaliada passou de 1889 v/h para 1969 v/h, o que resulta em um aumento de 4,2%. Quanto ao volume discriminado pela categoria dos veículos

a maior diferença ocorreu no número de motos, com um aumento de 38,8%. O volume total, calculado em UCP, passou de 1910 ucp/h para 1950 ucp/h, resultando em um aumento de 2,1%. O fluxo de saturação passou de 3800 veículos por hora de verde (vhv) para 4043, resultando em um aumento de 6,39%. O número de veículos que passaram pelo amarelo e pelo vermelho foi de 56 para 26 e de nove para quatro, respectivamente, causando uma redução no número de veículos, em cada um destes períodos, de 54% no amarelo e 56% no vermelho. Considerando apenas os três primeiros segundos de vermelho, que teoricamente são os mais influenciados pelo temporizador, as infrações caíram 60%. A incidência de *red-stopping* passou de 19 para 65 veículos em uma hora, ou seja, 3,4 vezes mais ou um aumento de 242%. Calculando a incidência através da porcentagem de veículos em cada hora, o aumento foi de 230%.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo do trabalho foi alcançado em relação à avaliação comparativa do impacto do temporizador antes e depois da sua instalação em uma interseção onde existe detecção de avanço ao sinal vermelho com sistema de multagem. Foram analisadas diversas variáveis, como o tempo de ciclo, volume total e discriminado de veículos, veículos passando no amarelo e vermelho, fluxo de saturação e incidência de *red-stopping*.

O volume de veículos teve um leve aumento depois da instalação do temporizador, assim como o fluxo de saturação. Não é possível saber qual foi a parcela de responsabilidade do temporizador sobre as mudanças, pois o plano semafórico foi reduzido e conseqüentemente o verde efetivo também, que é diretamente proporcional ao tempo de ciclo. O número de veículos cruzando a interseção no tempo de amarelo e vermelho diminuiu consideravelmente depois da instalação do temporizador. Essa redução, além de expressiva, foi muito semelhante nos dois casos. Portanto é possível afirmar que o temporizador no final do verde inibe indiretamente os motoristas a passarem durante o amarelo e vermelho, pois quando sabiam o tempo restante para cruzar a interseção de maneira segura, menos motoristas utilizaram o tempo de amarelo ou o vermelho.

A incidência de *red-stopping* aumentou muito com o temporizador em funcionamento, isso significa que mais motoristas optaram por parar antes da linha de retenção a cruzar a interseção durante os últimos segundos de verde. Antes da instalação do temporizador, isso não acontecia com tanta frequência, porque os motoristas não tinham conhecimento do iminente término do tempo de verde. Os veículos que praticaram *red-stopping* antes do temporizador provavelmente frearam bruscamente ou estavam a uma velocidade reduzida quando visualizaram a mudança do verde para o amarelo. Levando em consideração a redução de veículos passando no tempo de amarelo e vermelho e o aumento do *red-stopping*, pode-se concluir que o motorista esteja sendo influenciado a não realizar a travessia no final do verde, pois na aproximação existe um detector de avanço ao sinal vermelho, com sistema de fiscalização de avanço de sinal, e ele sabe que se não for bem sucedido na travessia pode ser multado.

Nenhum acidente foi registrado durante as filmagens, mas foram recorrentes freadas bruscas por parte de alguns motoristas para evitar colisão traseira. Além disso, analisando o diagrama espaço/tempo de apenas um ciclo e a filmagem realizada pelo ângulo de fundo da aproximação, foi possível constatar que muitos desses motoristas optam por frear no final do tempo de verde e ao mesmo tempo outros optam por continuar a travessia. Quando os motoristas que optam pela travessia vêm na mesma faixa de tráfego consecutivos aos que

optam pela parada, os que vêm depois são obrigados a frear bruscamente ou ultrapassar quando possível, colocando muitas vezes em risco a segurança na via. Portanto, para interseções com detecção do avanço ao sinal vermelho, o temporizador não é recomendado no final do tempo de verde, pois pode colocar em risco a segurança do motorista.

Para o armazenamento e análise de dados foi utilizado o Excel, que armazena os dados de cada segundo da hora avaliada. Esse método mostrou-se eficiente e flexível, pois é possível simular diversos cenários e agrupar valores de qualquer período de tempo dentro de cada hora analisada. O sistema tornou dispensáveis as planilhas de papel e, conseqüentemente, a necessidade de digitalização de dados, reduzindo os erros. A realização do armazenamento de dados através de planilhas digitais e da coleta feita por videoteipe, em conjunto, contribuiu para o sucesso deste trabalho. Esse sistema exigiu apenas uma pessoa para que pudesse ser completado, mostrando-se eficaz. Devido ao sucesso da metodologia adotada para coleta e tratamento dos dados, fica recomendada a sua utilização em trabalhos posteriores, salvo para aqueles em que seja necessária a análise de amostras coletadas durante longos períodos de tempo. Cabe ressaltar que os resultados do presente estudo referem-se apenas a uma interseção. Dessa forma, para que as conclusões sejam consolidadas em um âmbito maior, se faz necessário ampliar o estudo para outras interseções do Rio de Janeiro e de outras cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIOU, YC. e CHANG, CH. (2010) Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 1057-1065.
- LUM, K. M. e HALIM, H. (2006) A before-and-after study on Green signal countdown device installation. *Transportation Research Part F*, v. 9, p. 29-41.
- SPIGOLON, L. M. G. (2010) *Semáforo: Grupo Focal Convencional X Grupo Focal com Informação do Tempo de Verde/Vermelho Restante*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- WEBSTER, F. V. (1957) *Traffic Signal Settings – Road Research Technical Paper No. 39*. Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory, London, England, Her Majesty's Stationary Office.
- WEI, CH., CHEN, CH., HU, SR., *et al.* (2010) Driver behavior under the green signal countdown information. *Taiwan National Science Council Research*, p. 1-11.

Thiago Soares Figueira (thiagosoaresfigueira@gmail.com)
Rua Pereira da Silva, 421/204, Laranjeiras – Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Paulo Cezar Martins Ribeiro (pribeiro@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes, COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 106
Ilha do Fundão – Rio de Janeiro, RJ, Brasil