

Estudo da redução do fluxo de tráfego em pontos de afunilamento**Study of reducing traffic flow in points of function**

DOI:10.34117/bjdv6n10-125

Recebimento dos originais: 05/09/2020

Aceitação para publicação: 07/10/2020

Daone da Silva Santos

Bacharel em Engenharia Civil

Instituto Federal de Alagoas – IFAL/Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe 1477, Bairro de Xingó, Piranhas-AL, CEP 57.460-000

E-mail: daone.santos@ifal.edu.br

João Felipe Barbosa Baía

Bacharel em Engenharia Civil

Universidade de Pernambuco – UPE

Endereço: Rua vereador domingos vital, 180. Alto do Cruzeiro. Arapiraca, AL

E-mail: joaofelipeufal@gmail.com

José Lucas de Oliveira Gregório

Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo

Endereço: Rua Frederico Grotte, 322, São Paulo - SP

E-mail: jose.gregorio@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Problemas de congestionamento de tráfego se mostram como um dos principais em sistemas de transportes acarretando prejuízos financeiros, aumento do número de acidentes, atrasos, demasiada emissão de poluentes, poluição sonora, dentre outros. O fenômeno de afunilamento de tráfego é entendido como um dos principais causadores de congestionamento, sendo necessário entender os mecanismos de ativação deste, para posteriormente conseguir reduzir problemas de congestionamento. Assim sendo, este artigo consiste em um estudo a partir de coleta e interpretação de dados de tráfego, em três pontos específicos de uma rodovia no estado da Califórnia, com vistas a entender as principais características das faixas de rolamento consoantes à velocidade e ao fluxo da via, obter a distribuição de fluxo máximo na via e avaliar as condições de dependência entre a redução da capacidade da via e as interrupções de fluxo de tráfego. Para tanto, dados do tráfego foram coletados por meio do sistema Performance Measurement System (PeMS), desenvolvido pelo Departamento de Transportes de Califórnia (Caltrans), e analisados por meio da aplicação da Transformada de Wavelet. Desta forma, foi possível esboçar características preliminares da velocidade e fluxo na via ao longo das suas faixas de rolamento, obtendo informações sobre o tempo de ativação e desativação do afunilamento de tráfego nestas. Ademais, estabelece-se uma breve avaliação da distribuição do fluxo máximo para as faixas de rolamento de modo a diferenciar suas características fundamentais.

Palavras-chave: Congestionamento de tráfego, Fluxo de tráfego, Pontos de afunilamento, Redução da capacidade de uma via.

ABSTRACT

Traffic congestion problems are shown to be one of the main problems in transport systems causing financial losses, an increase in the number of accidents, delays, too much emission of pollutants, noise pollution, among others. The traffic bottleneck phenomenon is understood as one of the main causes of congestion, and it is necessary to understand the mechanisms of its congestion, in order to subsequently be able to reduce congestion problems. Therefore, this article consists of a study from the collection and interpretation of traffic data, at three specific points on a highway in the state of California, with a view to understanding the main characteristics of the lanes depending on the speed and flow of the road. track, obtain the maximum flow distribution on the track and evaluate the conditions of dependence between the reduction of the track capacity and the traffic flow interruptions. For this purpose, traffic data was collected using the Performance Measurement System (PeMS), developed by the California Department of Transportation (Caltrans), and analyzed using the Wavelet Transform. In this way, it was possible to sketch preliminary characteristics of the speed and flow on the track along its lanes, obtaining information on the time of activation and deactivation of the traffic funnel in these. In addition, a brief assessment of the maximum flow distribution for the lanes is established in order to differentiate their fundamental characteristics.

Keywords: Traffic congestion, Traffic flow, Bottleneck points, Reduction of the capacity of a road.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos problemas encontrados nos sistemas de transportes, atualmente na maioria dos países, o congestionamento de tráfego – doravante denominado congestionamento - consiste em um dos mais problemáticos e onerosos. Suscintamente, congestionamento pode ser descrito como o fenômeno pelo qual as condições de operação viária apresentam a qualidade do fluxo do tráfego que se deteriora além do nível aceitável para atendimento das necessidades dos usuários (THURGOOD, 1995). Dessa forma, congestionamento pode acarretar diversos problemas, tais como: aumento do número de acidentes, atrasos, demasiada emissão de poluentes, poluição sonora, dentre outros.

Inicialmente, o congestionamento é problemático pois provoca estresse e desconforto para um grande número de pessoas que, inevitavelmente, têm que enfrentar esta condição de tráfego diariamente, mundo afora. Outrossim, o congestionamento é oneroso pois representa um desastre econômico em muitos países atualmente, como consequência da enorme quantidade de tempo, combustível e dinheiro desperdiçados.

Neste íterim, os problemas oriundos de congestionamentos são diversos e desastrosos, sendo os desperdícios financeiros mais preocupantes pois desencadeiam vários outros problemas em cadeia. Neste cenário, Cintra (2014) destaca que os custos (pecuniários e de oportunidades) oriundos de problemas de congestionamento na cidade de São Paulo passaram de R\$ 17,3 bilhões em 2002 para R\$ 40,1 bilhões em 2012, o que representa um desperdício impactante e irreparável. Similarmente, Schrank & Lomax (2012) destacam que os problemas de congestionamento aumentaram

substancialmente nos últimos 30 anos e os mesmos provocaram uma perda de, aproximadamente, 121 bilhões de dólares para os Estados Unidos da América no ano de 2011.

De posse destas informações, fica evidente que o congestionamento é um problema crucial que precisa ser investigado cuidadosamente, além de ser necessário investir muitos esforços para entender os meios pelos quais este problema se desenvolve e quais as variáveis responsáveis pela sua perpetuação. Nesse panorama, o fenômeno de afunilamento de tráfego é entendido como um dos principais causadores de congestionamento, sendo necessário entender os mecanismos de ativação deste, para posteriormente conseguir reduzir problemas de congestionamento.

Dessa forma, este artigo intenta obter uma análise de dados de tráfego relacionados ao fenômeno de afunilamento, na investidura de esboçar respostas a alguns questionamentos fundamentais. Portanto, os objetivos específicos desta pesquisa são: (1) obter a distribuição de redução de fluxo para uma determinada condição de tráfego; (2) avaliar as condições de dependência entre a redução da capacidade da via e as interrupções de fluxo de tráfego; e (3) discutir as principais características das faixas de rolamento e as relações com o fluxo da via.

2 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa baseou-se, na coleta de dados disponibilizados pelo sistema PeMS da Caltrans, posteriormente na análise destes dados por meio da aplicação da Transformada de Wavelet e da interpretação dos gráficos gerados. Para a coleta de dados foi desenvolvido um critério para identificar os dados que deveriam ser coletados e os que não. A seleção dos locais específicos para a coleta dos dados também se deu em virtude de alguns critérios, sobretudo do julgamento dos presentes pesquisadores quanto ao fato destes locais apresentarem problemas de afunilamento de tráfego, ocasionados por convergências e divergências de tráfego, configurações geométricas e relativa proximidade destes três pontos de coleta de dados. A seguir esta seção abordará mais detalhes sobre a coleta, análise e interpretação dos dados de tráfego.

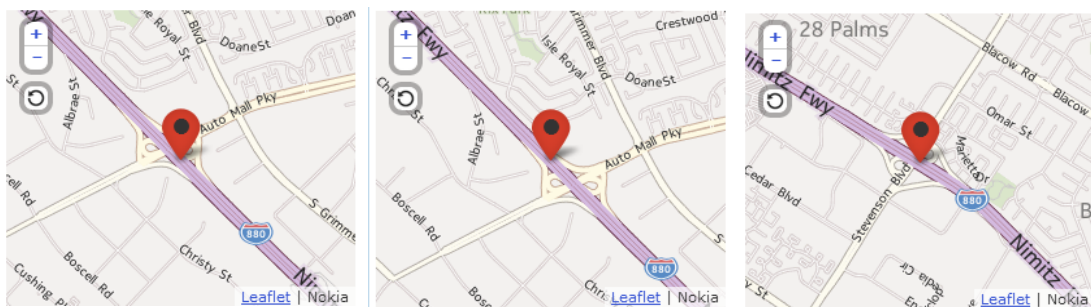
2.1 COLETA DE DADOS

Foram analisados dados referentes a dias da semana do período de janeiro a maio de 2018. Em seguida foram selecionados e coletados dados de 20 dias de tráfego em três pontos específicos no estado da Califórnia. Os dados coletados referem-se à velocidade, taxa de fluxo e ocupação em dias da semana em intervalos de 5 minutos. Estes dados foram coletados por meio do site do sistema PeMS (Performance Measurement System) que consiste em um sistema desenvolvido e gerenciado pela Caltrans (California Department of Transportation).

Este sistema dispõe de coletores automáticos que coletam dados em tempo real e os armazenam virtualmente em seu site. O sistema conta com mais de 39.000 detectores individuais para coletar dados automaticamente nas regiões metropolitanas do estado da Califórnia (PeMS, 2018). Este sistema tem a capacidade de armazenar e disponibilizar dados históricos de um intervalo de tempo de até 10 anos, aproximadamente, o que consiste em uma ótima ferramenta para pesquisadores e gestores da área.

Quanto à identificação dos pontos de afunilamento e coleta dos dados, em colaboração com pesquisadores do Laboratório TOPS (Traffic Operations and Safety) da University of Wisconsin – Madison, sobretudo baseando-se em trabalhos anteriores deste laboratório, decidiu-se escolher três pontos específicos da interestadual I-880, popularmente conhecida como Nimitz Freeway, no estado da Califórnia por estes apresentarem características de afunilamento de tráfego. Os três pontos escolhidos estão localizados no Distrito 4, município de Alameda, na cidade de Fremont. A figura 1 ilustra estes pontos de coleta de dados.

Figura 1: Localização dos coletores automáticos.



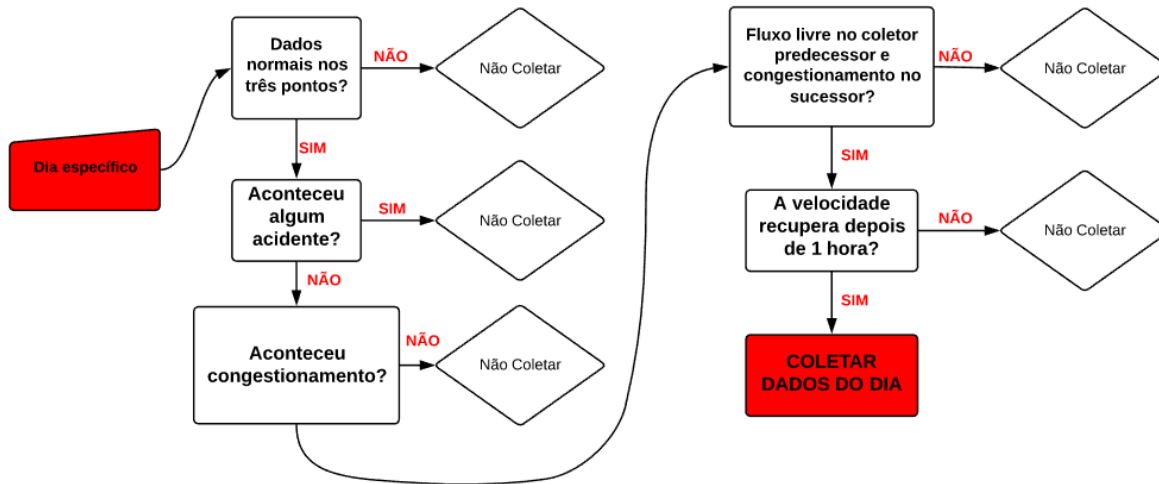
Fonte: PeMS (2018).

Para a coleta de dados, considerou-se alguns critérios essenciais, baseando-se, preponderantemente em Toledo (2011). Primeiramente, a premissa que o congestionamento acontece quando a velocidade se reduz de um valor relativamente alto para valores menores que 45 milhas por hora (mph) e se mantém nesta taxa por, pelo menos, uma hora, para o caso de um intervalo de 5 minutos. Em adição, o ponto de afunilamento deve apresentar congestionamento e este deve se propagar com o fluxo o que significa que o detector sucessor também deve detectar congestionamento, mas o detector predecessor deve apresentar fluxo livre. O terceiro critério refere-se à análise dos dados apresentados pelo site do PeMS. Se os dados apresentarem, de alguma forma, algo estranho, tais como picos inesperados na velocidade ou no fluxo, estes dados devem ser evitados.

Dando continuidade, apenas dias de semana foram coletados. Dias de finais de semana e feriados foram evitados. Quando da ocorrência de incidentes em qualquer um dos três coletores, os

dados daquele dia foram descartados. Finalmente, considerou-se também a recuperação do fluxo depois do período de congestionamento, caso o congestionamento permanecesse por muito tempo além do intervalo de uma hora, os dados destes dias não foram coletados. A figura 2 ilustra, esquematicamente, estes critérios de escolha para coleta de dados adotados.

Figura 2: Diagrama de fluxo para decisão de coleta dos dados.



Fonte: Autores.

2.2 MÉTODO DE ANÁLISE

Qualquer condução de pesquisa envolve a análise de dados do mundo real na tentativa de verificar hipóteses e previsões, ambas feitas com base no mundo ideal. O investigador que analisa dados de pesquisa precisa conhecer informações que não são explícitas nos dados brutos, mas que só são visíveis nos dados processados.

Neste contexto, uma das informações mais necessárias que é visível apenas em dados processados é o espectro de frequência e seu comportamento no tempo. A transformada de Wavelet (TW) pode ser usada para fornecer este tipo de informação.

A TW é uma ferramenta poderosa que pode fornecer informações de frequência de tempo, o que é muito eficaz na decomposição e análise de dados de tráfego. Existem dois tipos de Transformada de Wavelet: Transformada de Wavelet Contínua e Transformada de Wavelet Discreta. Esses dois tipos são diferentes, mas têm um propósito complementar. Este trabalho teve foco na Transformada Wavelet Contínua, que foi usada para identificar os tempos de ativação e desativação dos afunilamentos e períodos de estado estacionário. O coeficiente Wavelet Contínuo é uma função matemática dada por:

(Equação 01)

$$\varphi_x^\varphi(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \varphi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt, \quad s \in \mathbb{R}^+ - \{0\}, \tau \in \mathbb{R}$$

A ideia principal da TW Contínua é que uma mudança no sinal, por exemplo uma queda de velocidade, provoca grandes valores absolutos de coeficientes Wavelet, o que representa informações sobre os eventos mencionados.

Dando continuidade, a função Wavelet Mexicana é a segunda derivada negativa normalizada da função gaussiana e é muito eficaz na análise de dados de tráfego. É matematicamente representada pela seguinte expressão:

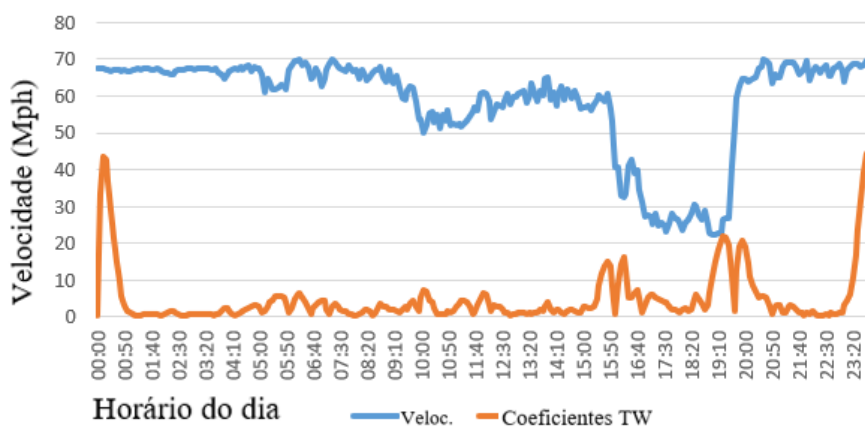
(Equação 02)

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{3}\sigma\pi^{1/4}} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2}\right) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}}$$

De fato, a TW Mexicana é especialmente importante porque gera picos e quedas exatamente onde há mudanças no sinal bruto. Conseqüentemente, mudanças na velocidade ou no fluxo representam picos na curva dos coeficientes Wavelet. Isso é exatamente o que é necessário para determinar com precisão o tempo de congestionamento inicial, o período de congestionamento e o tempo de recuperação. Abaixo a figura 3 ilustra um pouco esta facilidade na análise de dados do tráfego.

Figura 3: Velocidade e gráfico de coeficientes de Wavelet.

Faixa 3 - 22 Abril de 2018



Fonte: Autores.

Na figura 3, a linha azul representa a relação tempo-velocidade, enquanto a linha laranja representa a relação coeficientes Wavelet-tempo. Como se pode perceber, há um pico nos coeficientes Wavelet mostrando a que horas ocorreu a queda da velocidade inicial, assim como quando ela se recuperou. Isso faz da Transformada Wavelet Contínua uma ferramenta matemática muito útil para analisar dados de tráfego.

No mais, em se tratando TW, é necessário enfatizar que todas as análises foram feitas usando o MATLAB®, que consiste em uma linguagem de alto nível e um ambiente interativo para computação, visualização e programação numérica. Após a elaboração de um algoritmo, o software é capaz de aplicar todos os conceitos de TW Contínuo nos dados de tráfego usando os dados coletados armazenados nas planilhas do Excel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção abordará os resultados encontrados durante a pesquisa e as discussões destes decorrentes. Assim sendo, serão abordados resultados referentes ao congestionamento, ao tempo de ativação e desativação do afunilamento de tráfego, características da velocidade e do fluxo ao longo das faixas de rolamento, discussões sobre a distribuição de fluxo máximo, assim como outras informações pertinentes.

Quanto às características das vias, a partir da análise dos dados, foi possível esboçar algumas características comportamentais da velocidade e do fluxo para cada faixa de rolamento. A via possui 4 faixas de rolamento, sendo chamadas de faixa 1, faixa 2, faixa 3 e faixa 4 no sentido normal ao fluxo em que a faixa mais distante do fluxo de entrada consiste na faixa 1 e a faixa mais próxima deste fluxo de entrada é chamada de faixa 4, conforme nomenclatura do sistema PeMS. A figura 4 ilustra esta nomenclatura.

Figura 4: Nomenclatura das faixas de rolamento.



Fonte: Google (2019).

Dessa forma, constatou-se que, a faixa 1 apresenta a maior velocidade dentre as faixas, enquanto a faixa 2 apresenta a segunda maior velocidade e a faixa 3 a terceira maior velocidade. Similarmente, a faixa 4 apresenta a menor velocidade entre as faixas de rolamento.

Este comportamento da velocidade ao longo das faixas de rolamento está condizente com o esperado. A velocidade dos veículos na faixa 4 é severamente influenciada pelo tráfego convergente de entrada, enquanto a faixa 1 não sofre esta interferência e os veículos conseguem atingir velocidades mais altas.

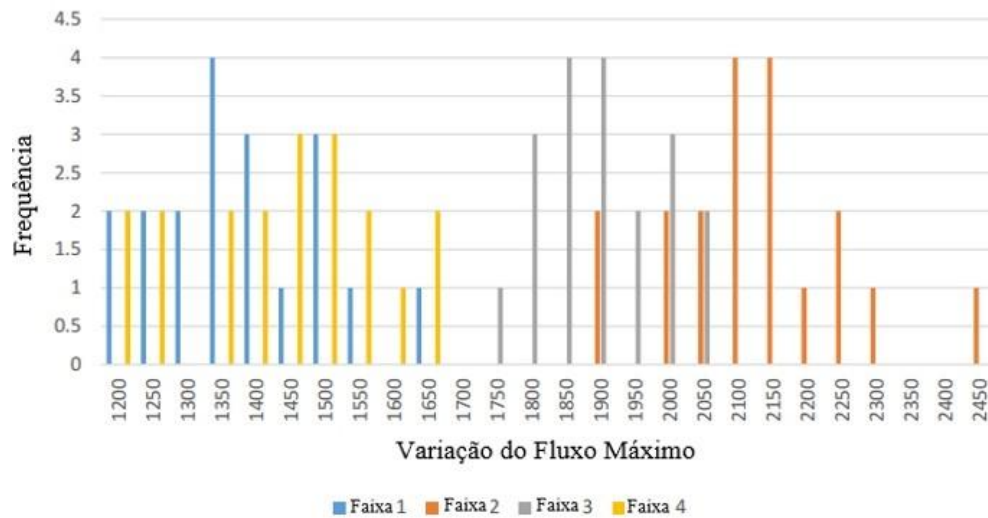
No que concerne ao fluxo, a faixa 2 apresenta o maior fluxo e, curiosamente o fluxo na faixa 1 não se apresenta estabilidade como nas outras faixas; no entanto este fenômeno resulta do fato da faixa 1 servir, preponderantemente, para ultrapassagens e para veículos com velocidades mais altas. Notavelmente, pode-se perceber que a taxa de fluxo em todas as faixas de rolamento aumenta, sutilmente, imediatamente antes do início do congestionamento. Este fenômeno é importante, pois um aumento sutil, porém repentino, na taxa de fluxo pode ser um indicador de congestionamento.

Dando continuidade, para identificar o tempo exato de ativação e desativação do afunilamento, assim como algumas características das faixas, a Transformada de Wavelet foi aplicada aos dados. Dessa forma, pôde-se observar que os tempos de ativação e desativação do afunilamento foi bastante consistente para todas as faixas, variando apenas em 5 minutos no caso de todos os 20 dias coletados.

Este resultado indica que se pode obter indicadores de congestionamento para a via como um todo a partir da observação de apenas uma faixa, sem necessariamente avaliar todas as faixas individualmente. Isso representa uma significativa economia de tempo para a análise.

Por fim, quanto à distribuição do fluxo máximo vale destacar que do conceito de capacidade, pode-se assumir que a taxa de fluxo será máxima, imediatamente antes de iniciar o congestionamento. Assim sendo, tornou-se oportuno analisar as taxas de fluxo máximo e aumento do fluxo. A partir desta análise, foi possível produzir um histograma para avaliar a distribuição do fluxo máximo, imprescindível para capturar algumas diferenças entre o fluxo de tráfego de acordo com as faixas de rolamento. A figura 5 mostra este histograma.

Figura 5: Histograma para avaliação do fluxo máximo.
HISTOGRAMA



Fonte: Autores.

A partir do entendimento deste histograma, percebe-se que cada faixa apresenta características diferentes para os 20 dias analisados. A faixa 2 apresenta o maior fluxo, da mesma forma a faixa 3 apresenta um alto fluxo, enquanto as faixas 1 e 4 apresentam um fluxo mais baixo. Neste contexto, as taxas de fluxo máximo e aumento do fluxo podem ser indicadores confiáveis de congestionamento, assim como as faixas 2 e 3 podem servir como base para análises posteriores por apresentarem uma faixa estreita de distribuição.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho trata de assuntos relacionados com um sério problema enfrentado pela maioria dos países atualmente, qual seja, os congestionamentos de tráfego. Este problema ocasiona perdas econômicas e ambientais desastrosas. Particularmente, congestionamentos são provocados por ocorrências de afunilamento de tráfego e este trabalho mostra alguns dos aspectos que precisam ser pensados para a identificação das características da ativação destes afunilamentos com vistas a implementação de possíveis soluções.

De acordo com os resultados deste trabalho, ficou evidente que a maior velocidade dos veículos se deu na faixa 1, a qual se encontra mais distante do tráfego convergente de entrada, ao passo que a faixa 4 apresentou menor velocidade, conforme esperado. Ademais, constatou-se que os maiores fluxos, no geral, foram localizados nas faixas centrais (2 e 3) e os menores fluxos, localizados nas faixas mais extremas (1 e 4).

No mais, constatou-se um leve aumento na taxa de fluxo das faixas de rolamento logo antes de se iniciar o congestionamento, e embora este padrão seja um pouco curioso em termos de interpretação, consiste em um indicador promissor do início de um congestionamento.

É importante ressaltar também a constatação de uma pequena variação do tempo de ativação e desativação do afunilamento do tráfego entre as faixas nos 20 dias coletados, sendo apenas de 5 minutos, o que torna possível a observação de apenas uma faixa de rolamento, possibilitando economia de tempo de análise. Finalmente, espera-se que este trabalho possa contribuir com a expansão das discussões e do entendimento dos fenômenos associados aos problemas de congestionamento.

REFERÊNCIAS

CINTRA, M. **Os Custos dos Congestionamentos na Cidade de São Paulo**. São Paulo: São Paulo School of Economics – FGV., 2014. DOI JEL R41.

PEMS Website. **California Department of Transportation** – Caltrans. Disponível em: <www.pems.dot.ca.gov/>. Acesso em: 20/07/2018.

Schrank, D.; Lomax, T. **The 2012 urban mobility report**. Dallas.: Texas Transportation Institute., 2012.

THURGOOD, G. S. **Development of a Freeway Congestion Index Using an Instrumented Vehicle**. Transportation Research Board. 1995.

TOLEDO, C. A. **Congestion Indicators and Congestion Impacts: A Study on the Relevance of Area-wide Indicators**. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011.