

ANÁLISE DO IMPACTO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS NA INFRA-ESTRUTURA VIÁRIA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA

Juliana Jerônimo de Araújo

José Reynaldo A. Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Esta pesquisa de doutorado propõe o desenvolvimento de uma metodologia que permita a utilização de dados resultantes de simulação microscópica na quantificação do impacto do tráfego de veículos pesados na infraestrutura viária, em especial nas pontes. Essa metodologia será testada com o auxílio do CORSIM, que será recalibrado através de um algoritmo genético para incorporar os efeitos das características dos veículos pesados que trafegam em rodovias de pista dupla brasileiras. A quantificação dos impactos dos veículos pesados para o dimensionamento de pontes será realizada com a colaboração de pesquisadores da área de Engenharia Estrutural.

ABSTRACT

This Ph.D. research proposes the development of a methodology to allow the use of output generated by microscopic traffic simulation to quantify the impact of heavy vehicles on highway infrastructure, especially on bridges. This methodology will be tested using the CORSIM, which will be recalibrated through the use of a genetic algorithm to account for the effects of performance characteristics of typical Brazilian heavy vehicles. The assessment of the impact of heavy vehicles on highway bridge will be developed in collaboration with Structural Engineering researchers.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de pontes leva em conta vários fatores, sendo a ação do tráfego um dos mais significativos. O carregamento causado pelo tráfego é considerado difícil de modelar de uma forma precisa devido à sua aleatoriedade e, por isso, são feitas várias simplificações para tornar sua determinação possível (Crespo-Minguillón e Casas, 1997). Uma forma simplificada de modelar os efeitos do tráfego é adotada pela norma brasileira (ABNT, 1984). As cargas móveis usadas na NBR 7188 (ABNT, 1984) não correspondem a veículos reais que trafegam pelas pontes, mas se usa um carregamento hipotético simplificado para reproduzir as solicitações provocadas pelo tráfego. Esse carregamento é obtido através de trens-tipo normativos, cujo peso e geometria são estabelecidos pela norma (Santos, 2003). Um importante aspecto é o fato de que, apesar das combinações de carga apresentadas na norma brasileira terem como objetivo reproduzir as solicitações provocadas pelo tráfego real, a norma não prevê a passagem simultânea de dois ou mais trens-tipo, ao contrário do que acontece nas situações reais de carregamento (ABNT, 1984).

Os modelos de simulação de tráfego são capazes de reproduzir, com suficiente fidelidade, o comportamento do tráfego sobre uma ponte, incorporando toda a aleatoriedade inerente ao fluxo de veículos. Através do uso de um simulador microscópico é possível estabelecer a sequência de veículos que trafega em cada faixa de tráfego da ponte, além de outros dados como tipo de veículo, *headways*, velocidade e instante de entrada na ponte para cada veículo simulado. Esses dados podem ser usados para determinar as cargas devidas ao tráfego, de uma forma mais realística do que os métodos simplificados que usam trens-tipo normativos.

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa proposta é desenvolver uma metodologia que permita utilizar resultados de simulação para quantificar o impacto do tráfego de veículos pesados sobre elementos da infraestrutura viária que são afetados pela passagem de eixos veiculares, como pavimen-

tos, pontes e viadutos. O modelo escolhido para a simulação é o CORSIM (versão 5.1), que será recalibrado através de um algoritmo genético, para melhor incorporar os efeitos das características operacionais dos veículos pesados encontrados em rodovias brasileiras. O resultado da simulação será submetido a um pós-processador, de tal forma que seja criado um conjunto de dados contendo a sequência de eixos veiculares, com seu peso, espaçamento e velocidade, para cada faixa de tráfego da ponte. Esses dados servirão para a alimentação de um programa que calcula as solicitações causadas pelo tráfego veicular, utilizado por especialistas do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP.

3. MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO

Para demonstração da metodologia desenvolvida, será feito um estudo de caso, envolvendo a obtenção de dados do tráfego para análise dos impactos em pontes de concreto armado. Para isso, são definidos os seguintes objetivos:

1. Obter um modelo de simulação microscópica de tráfego capaz de reproduzir, com fidelidade, o comportamento do tráfego numa rodovia de pista dupla brasileira;
2. Obter dados sobre a composição do tráfego em rodovias de pista dupla no Brasil, que sejam suficientemente detalhados para caracterizar o fluxo em termos de categorias veiculares e que possibilitem a estimativa de pesos brutos totais e de cargas por eixo em cada tipo de veículo pesado;
3. Criar um programa (pós-processador) que seja capaz de, a partir dos resultados do simulador, fornecer, no formato apropriado para utilização pelos projetistas de pontes, uma sequência de veículos que trafegam sobre a ponte (ou um ponto específico do pavimento), estabelecendo, para cada um deles uma categoria veicular, um peso bruto total e os pesos por eixos, a partir dos dados obtidos na caracterização do tráfego; e
4. Proceder a um estudo de caso para demonstrar a aplicação do processo proposto numa rodovia de pista dupla do Estado de São Paulo.

3.1. Modelo de simulação microscópica

O modelo escolhido para a simulação é o CORSIM (TSIS versão 5.1), desenvolvido pelo FHWA, nos EUA (FHWA, 2001). O CORSIM é um modelo de alta fidelidade, capaz de representar a interação interveicular de forma contínua (Milam e Choa, 2002). No CORSIM, cada veículo é modelado individualmente e é identificado pela sua frota e seu tipo. O CORSIM permite que até nove tipos diferentes de veículos sejam especificados em quatro frotas de veículos: automóvel (dois tipos), caminhão (quatro tipos), ônibus (um tipo) e *carpool* (dois tipos).

Para que um simulador represente realisticamente o sistema modelado, é preciso recalibrar seus parâmetros internos. O CORSIM possui diversos parâmetros de calibração, que podem ser divididos em duas categorias: (1) parâmetros que controlam o comportamento dos motoristas e (2) parâmetros que controlam o desempenho dos veículos. Uma pesquisa recente (Schultz, 2003) mostrou que dentro dessas categorias, os parâmetros mais críticos e que exercem maior efeito na simulação são os relacionados à lógica do *car-following*, seguidos pelos fatores de aceleração, desaceleração e mudança de faixa.

Devido ao grande número de parâmetros, o processo de recalibração é muito complexo. Para otimizar a recalibração do modelo e minimizar o esforço requerido, a recalibração proposta será feita automaticamente, através de um algoritmo genético. Uma vantagem dos algoritmos genéticos é a capacidade de recalibrar vários parâmetros simultaneamente (Ma e Abdulhai,

2002). Os algoritmos genéticos já foram usados para recalibrar os simuladores FRESIM (Cheu *et al.*, 1998), PARAMICS (Lee *et al.*, 2001), TRANSIMS e CORSIM (Kim e Rilett, 2001; Rilett e Kim, 2001) e TRARR (Egami *et al.*, 2004). O algoritmo genético usado nesta pesquisa foi escrito na linguagem Perl, com o auxílio de pesquisadores da Texas A&M University. A recalibração será realizada com base em medidas de desempenho tais como *headways* por faixa, fluxo de tráfego por faixa, etc. que ainda serão definidas.

3.2. Caracterização do tráfego

Os principais dados necessários para incluir a operação dos veículos pesados na recalibração do modelo de simulação de tráfego CORSIM são: (1) volume e composição do tráfego; (2) peso bruto total e peso por eixo dos caminhões; e (3) distâncias entre eixos dos caminhões.

Os dados sobre volume e composição do tráfego foram coletados com câmeras de vídeo e pesquisadores. Dados sobre pesos dos caminhões e distância entre eixos foram obtidos em balanças localizadas em rodovias de pista dupla no Estado de São Paulo. A partir daí, será feita uma análise sobre a distribuição dos pesos dos caminhões em cada classe veicular. Como o CORSIM permite apenas que um número limitado de tipos de veículos seja simulado, os dados de caminhões deverão ser agrupados de forma que veículos que possuem características operacionais e de desempenho similares pertençam ao mesmo tipo de veículo dentro dos quatro tipos de caminhões usados pelo CORSIM.

Durante a simulação serão obtidos dados sobre a frota, o tipo, a posição, a velocidade, a aceleração e a posição de cada veículo que entra no *link* da rede que representa a ponte. Isso será feito através de *vehicle probes* (veículos-sonda). Numa simulação, esses veículos são usados para monitorar, passo-a-passo, os veículos na rede, visando saber se seu comportamento condiz com o observado em campo. Como todos os veículos simulados podem ser *probes*, através deles é possível obter um retrato microscópico do tráfego de veículos sobre a ponte. Como o CORSIM não fornece essa ferramenta de análise diretamente, foi criado um programa que extrai esses dados dos arquivos gerados pelo CORSIM para o TRAFVU, a interface gráfica para visualização dos fluxos simulados. Esse programa foi escrito na linguagem C++ e permite acompanhar o movimento de cada veículo ao longo da rede, a cada segundo, bem como obter informações tais como: frota e tipo do veículo, velocidade, aceleração e posição no *link*.

3.3. Pós-processador

Dadas as restrições do CORSIM em relação ao número de tipos de veículos e frente à necessidade de se estabelecer, para cada veículo simulado, um peso bruto total e as cargas por eixos, a desagregação dos resultados da simulação será realizada através de um programa capaz de fornecer a seqüência dos eixos (e seus pesos) que trafegam pela ponte ao longo da simulação. Através da distribuição dos dados coletados com respeito às características dos caminhões e de uma análise estatística, será possível estimar, para cada veículo que trafega num *link* específico da rede (que representa a ponte), suas características individuais, tais como número, posição e espaçamento dos seus eixos, seu peso bruto total e o peso de cada um dos seus eixos.

3.4. Estudo de caso

Para demonstração do método proposto, será realizado um estudo de caso no qual será simulado o trecho da Rodovia Washington Luiz que margeia a cidade de São Carlos. Esse trecho foi escolhido porque combina características de tráfego urbano com tráfego interurbano, além de facilitar a coleta de dados. A rede simulada tem 7,5 km, 15 acessos no sentido capital-interior

e 16 acessos no sentido oposto, o que torna necessária a obtenção de uma matriz origem-destino que represente, com o grau de fidelidade desejado, o tráfego observado.

A codificação da rede foi feita a partir de dados do projeto geométrico do trecho (tais como comprimento e inclinação das rampas) e de dados obtidos em campo (por ex., comprimentos das faixas de aceleração e desaceleração). Segundo a concessionária responsável pelo trecho, o fluxo médio diário bidirecional é de 11.690 veículos, dos quais 73% são automóveis e 27%, caminhões e ônibus.

Após oito horas de coleta de dados, essa etapa está concluída. Os dados levantados com câmeras de vídeo, em três seções de controle ao longo do trecho, incluem, para cada sentido de tráfego: volume e composição do fluxo, velocidade no espaço, *headways* entre veículos por faixa de tráfego e distribuição de tráfego por faixa. Além disso, 16 pesquisadores posicionados nos acessos de entrada e saída da rodovia coletaram dados para a construção da matriz origem-destino. O próximo passo previsto é a análise detalhada dos dados coletados. Esses dados serão usados na recalibração do CORSIM pelo algoritmo genético e no estudo de caso. O pós-processador descrito anteriormente permitirá produzir dados detalhados do carregamento em uma das pontes do trecho, que serão usados pelos pesquisadores da área de engenharia estrutural.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como produto final desta pesquisa pretende-se obter uma metodologia capaz de quantificar o impacto que o tráfego de veículos pesados ocasiona na infra-estrutura viária, através do uso de resultados de simulação microscópica. Outro resultado pretendido é a obtenção do modelo de simulação CORSIM recalibrado para um trecho de rodovia de pista dupla no Estado de São Paulo. Além disso, esta pesquisa irá dispor de um conjunto de dados sobre características de veículos pesados com amostra de tamanho significativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1984) *NBR 7188 – Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres*. Rio de Janeiro.
- Cheu, R.; Jin, X.; Ng, Y.; e Srinivasan, D. (1998) Calibration of FRESIM for Singapore Expressway Using Genetic Algorithm. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, p. 526-535.
- FHWA (2001) *CORSIM User's Guide*. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Crespo-Minguillón, C. e Casas, J. R. (1997) A Comprehensive Traffic Load Model for Bridge Safety Checking. *Structural Safety*, v.19, n.4, p. 339-359.
- Egami, C.; Setti, J. R. e Rilett, L. (2004) Algoritmo Genético para Calibração Automática de um Modelo de Simulação de Tráfego em Rodovias de Pista Simples. *Anais do XVIII ANPET*. Florianópolis, v.1, p. 477.
- Kim, K.; Rilett, L. R. (2001) Genetic-Algorithm-Based Approach for Calibrating Microscopic Simulation Models. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, Oakland, EUA.
- Lee, D.; Yang, X.; Chanrasekar, P. (2001) Parameter Calibration for PARAMICS Using Genetic Algorithm. *Transportation Research Board, 80th Annual Meeting*, National Research Council, Washington, D.C.
- Ma, T.; Abdulhai, B. (2002) Genetic Algorithm-Based Optimization Approach and Generic Tool for Calibrating Traffic Microscopic Simulation Parameters. *Transportation Research Record 1800*, p. 6-15.
- Milam, R. T.; Choa, F. (2002) Recommended Guidelines for the Calibration and Validation of Traffic Simulation Models. http://www.fehrandpeers.com/publications/papers/traff_simulation.pdf. (Acessado em 18/03/03).
- Rilett, L. R.; Kim, K. (2001) Automatic Calibration of Surface Transportation Demand and Supply Modes Using ITS Data. *Proceedings of the 9th World Congress on Transport Research*, paper nº 4304.
- Santos, M. F. (2003) Contribuição ao Estudo do Efeito de Combinação de Veículos de Carga sobre Pontes Rodoviárias de Concreto. São Carlos, 2003. 152 p. Dissertação (Mestrado) – EESC, USP.
- Schultz, G. G. (2003) Developing a Methodology to Account for Commercial Motor Vehicles Using Microscopic Traffic Simulation Models. College Station. 332 p. Tese (Doutorado) - Texas A&M University.