

IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE MODELO MATEMÁTICO PARA PREDIÇÃO DE RUÍDO VEICULAR

Alexandre Luiz Amarante Mesquita, UFPA, E-mail: alexmesq@ufpa.br
Amilcar Souza Silveira, UFPA, E-mail: amilcarsilveira@gmail.com
Michel Augusto Vieira Da Silva, UFPA, E-mail: mavs3@ig.com.br

Resumo: Com o desenvolvimento das cidades aumentam-se o número e fluxo de veículos transitando nas vias urbanas. Consequentemente, o ruído emitido pelo tráfego de veículos é aumentado, gerando desconforto ou mesmo patologias às pessoas afetadas. Dessa forma, meios de controle de ruído são propostos para que os níveis sonoros situem-se dentro dos limites permissíveis regidos por leis municipais e normas técnicas. Em geral, as técnicas de controle de ruído são aplicadas na fonte (uso de atenuadores acústicos veiculares) e na trajetória do ruído (como por exemplo, uso de barreiras acústicas e revestimentos acústicos). No projeto das técnicas de controle de ruído veicular na trajetória, é comum o uso de modelos matemáticos calibrados do ruído para que diferentes cenários do controle acústico possam ser simulados. Nesse sentido, este trabalho apresenta um estudo de caso de ajuste de parâmetros de um modelo matemático de nível de pressão sonora de ruído veicular já existente na literatura científica. Foram realizadas medidas de níveis de pressão sonora e quantificados o número e tipo de veículos trafegando em um determinado período de tempo em uma via da cidade de Belém-PA, onde o nível de ruído encontra-se acima do permitido por lei municipal. Com estas medições foram identificados parâmetros do modelo matemático usado, de forma que o mesmo possa ser usado em possíveis medidas de controle de ruído no local.

Palavras-chave: ruído veicular, modelo matemático, identificação de parâmetros.

IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR MATHEMATICAL MODEL PREDICTION OF TRAFFIC NOISE

Abstract: The development of cities results in an increasing of the vehicular traffic, and consequently in an increasing in the noise generated by the traffic. Thus, noise control techniques are proposed in order that the noise level becomes under the maximum allowable limits. In general, noise control techniques are applied in the source (e.g. mufflers) or in the path (e.g. acoustical barriers). In noise control in the path, it is common the use of mathematic models of noise prediction in order to perform the simulations of several scenarios of acoustical control. Therefore, this work presents a case study of parameter identification of mathematical model for noise prediction. For the case study, in a street of Belém City, measurements of sound pressure levels are performed and the number and type of vehicles running in the street were quantified. With the information of sound pressure levels, type and vehicle flow, the model was established in order to be used in noise control procedures.

Keywords: traffic noise, mathematical model, parameter identification.

1. INTRODUÇÃO

O tráfego de veículos é uma das principais fontes de poluição sonora ambiental. Portanto, no projeto de novas vias ou ampliação de vias existentes, relatórios de impacto ambiental geralmente incluem estimativas do ruído do tráfego veicular (BISTAFA, 2006). Em projetos de controle de ruído veicular também se faz necessário muitas vezes o uso de modelo matemático para auxiliar a simulação de diferentes cenários de controle de ruído. Portanto, já existem várias metodologias de predição do ruído de tráfego rodoviário, alguns simples, baseados em simples modelos matemáticos, e outros mais complexos. Existem programas computacionais específicos para a predição do ruído de tráfego veicular usados em vários países, tais como o código FHWA usado pela Administração Rodoviária dos Estados Unidos (FHWA) (BISTAFA, 2006), o modelo CoRTN (*Calculation of Road Traffic Noise*) desenvolvido pelo Departamento de meio Ambiente do Reino Unido (STEELE, 2001) e a norma alemã RLS 90 (*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – Diretrizes para Controle do Ruído em Rodovias*) (STEELE, 2001). Vários outros modelos de predição do ruído

veicular foram também desenvolvidos, como podem ser encontrados nos trabalhos de Suksaard *et al.* (1999), Steele (2001), Calixto *et al.* (2003a,b), Banerjee *et al.* (2008), Givargis e Karimi (2010), Rahmani *et al.* (2011) e Ramírez e Domínguez (2013).

No presente trabalho escolheu-se o modelo matemático de predição do ruído veicular de Calixto *et al.* (2003a,b) para ser ajustado de acordo com medições de nível de pressão sonora em uma via da cidade de Belém-PA. Nessa via, os níveis de ruído se encontram acima do permitido de acordo com a lei municipal de Belém nº 7.990 de 10 de janeiro de 2000, que fixa limites para o ruído urbano de 70 dB em horário diurno e 60 dB em horário noturno, de acordo com as recomendações da NBR 10.151 da ABNT, ou a que lhe suceder.

2. MODELO MATEMÁTICO DE RUÍDO VEICULAR

O modelo matemático de predição de nível de pressão sonora de ruído veicular usado neste trabalho foi proposto por Calixto *et al.* (2003a,b) e é dado pela Equação 1:

$$L_{eq} = a10\log[Q(1 + 9,5\%VP / 100)] + b, \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo L_{eq} , o nível de pressão sonora equivalente; Q , o fluxo real de veículos dado em veículos por hora; e VP , o percentual de veículos pesados (veículos acima de 2800 kg). Os coeficientes a e b são ajustados de acordo com os níveis de pressão sonora medidos.

Uma vez medido o fluxo de veículos, o percentual de veículos pesados, os níveis equivalentes de ruído, então, pelo método dos mínimos quadrados, ajusta-se uma curva aos pontos medidos. Matematicamente essa curva (reta) é do tipo:

$$y = ax + b, \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo que os valores das constantes a e b são determinados com a utilização das técnicas estatísticas de regressão linear. Assim, após a substituição das constantes a e b na expressão da Equação 1, tem-se a curva ajustada que pode determinar os valores dos níveis equivalentes do ruído de tráfego rodoviário da via em questão de acordo com o fluxo e tipo de veículos. Desta forma, medidas de controle de velocidade e tipo de veículos podem ser avaliados para que os níveis de ruído permaneçam dentro dos limites permissíveis.

3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

O local escolhido para a realização das medições de nível de pressão sonora, para o ajuste dos parâmetros do modelo matemático da Equação 1, foi um edifício localizado na Avenida José Malcher, uma importante via da cidade de Belém. Por ser uma rua bem movimentada, o ruído devido ao tráfego é intenso. As medidas foram coletadas no salão de recepção e eventos do edifício, sediado no 1º andar, a uma altura de 4,65 m. A Figura 1 mostra a frente do prédio e a Figura 2 mostra uma vista da avenida em frente ao prédio.

Para as medições foi utilizado o medidor de Nível de Pressão Sonora Brüel & Kjaer modelo 2238 (Figura 3). Os níveis de pressão sonora equivalentes, L_{eq} , foram medidos na curva de ponderação “A”. A metodologia das medições foi a seguinte: pela janela do salão de recepção do prédio (a uma distância de 15 metros do centro da pista à parede do edifício) foram medidos os níveis equivalentes do ruído em, L_{eq} na escala A, emitidos pelo tráfego de veículos a cada cinco minutos, durante vinte e cinco minutos. Simultaneamente, foi verificada a quantidade e tipo de veículos (leves e pesados) que passavam por uma linha fixa imaginária transversal à avenida. Os veículos pesados foram considerados aqueles que têm peso superior a 2.800 kg (CALIXTO *et al.*, 2003a,b), portanto, caminhonetes, caminhões e ônibus. O L_{eq}

para cinco minutos não diferia do L_{eq} para quatro minutos, caracterizando assim um ruído contínuo (FERNANDES, 2002), na segunda medição o tempo cada medição foi igual a 4 minutos.



Figura 1 - Prédio de onde foram feitas as medições.



Figura 2 - Av. José Malcher em Belém-PA.



Figura 3 - Medidor de Nível de Pressão Sonora Brüel & Kjaer modelo 2238.

4. RESULTADOS OBTIDOS E DICUSSÃO

Após as medições, foram obtidas 12 amostras divididas em duas etapas com horários diferentes como são apresentados nas tabelas que se seguem.

Tabela 1 - Dados obtidos na 1ª etapa da medição.

Hora	Q (Veíc/5 min)	Q (Veíc/h)	VP (Veíc. / h)	%VP	L_{eq} [db(A)]	$10\log(Q*(1+9,5* \%VP/100))$
19:05	186	2232	336	15,05	73,30	37,34
19:10	176	2172	366	16,85	73,40	37,52
19:15	183	2180	356	16,33	73,10	37,45
19:20	148	2079	342	16,45	73,00	37,27
19:25	199	2141	350	16,37	72,90	37,38
19:30	153	2090	328	15,69	72,50	37,17
Média	174	2149	346	16,12	73,03	37,36

Tabela 2: Dados obtidos na 2ª etapa da medição.

Hora	Q (Veíc/4min)	Q (Veíc/h)	VP (Veíc/h)	%VP	L_{eq} [db(A)]	$10\log[Q(1+9,5\%VP/100)]$
19:39	125	1875	360	19,20	71,50	37,24
19:43	104	1718	300	17,47	70,50	36,60
19:47	101	1650	260	15,76	70,10	36,15
19:51	103	1624	248	15,24	69,90	35,99
19:55	105	1614	258	15,99	70,00	36,09
19:59	92	1575	248	15,71	69,70	35,94
Média	105	1676	279	16,56	70,28	36,35

Após a medição do fluxo de veículos Q , o percentual de veículos pesados %VP, os níveis equivalentes de ruído L_{eq} e as respectivas quantidades $10\log[Q(1+9,5\%VP/100)]$, gerou-se o gráfico da Figura 4.

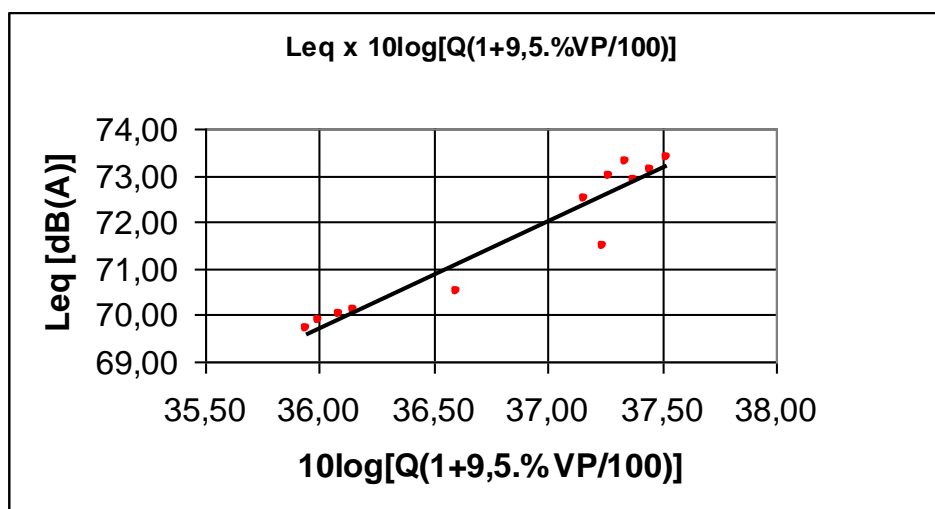


Figura 4 - Gráfico $10\log[Q(1+9,5\%VP/100)]$ versus L_{eq} .

Após análise de regressão linear nos pontos do gráfico da Figura 4, encontrou-se a melhor reta ($y=ax+b$), que se ajusta aos pontos no gráfico. A análise identificou os coeficientes a e b como:

$$a = 2,29 ; b = -12,73.$$

Assim a expressão obtida para o nível de pressão sonora de ruído veicular no local é igual a:

$$L_{eq} = 22,9 \log[Q(1 + 9,5\%VP / 100)] - 12,73, \tag{Eq.[03]}$$

sendo:

- L_{eq} é o nível equivalente de ruído emitido pelo tráfego urbano a 15 metros, em dB(A);
- Q é o fluxo de veículos (veículos por hora);
- %VP é o percentual de veículos pesados, em relação ao total de veículos.

Para efeito de verificação dos valores encontrados, gerou-se um gráfico comparativo entre o L_{eq} medido e o L_{eq} calculado pela Equação 3. O gráfico é mostrado na Figura 5.

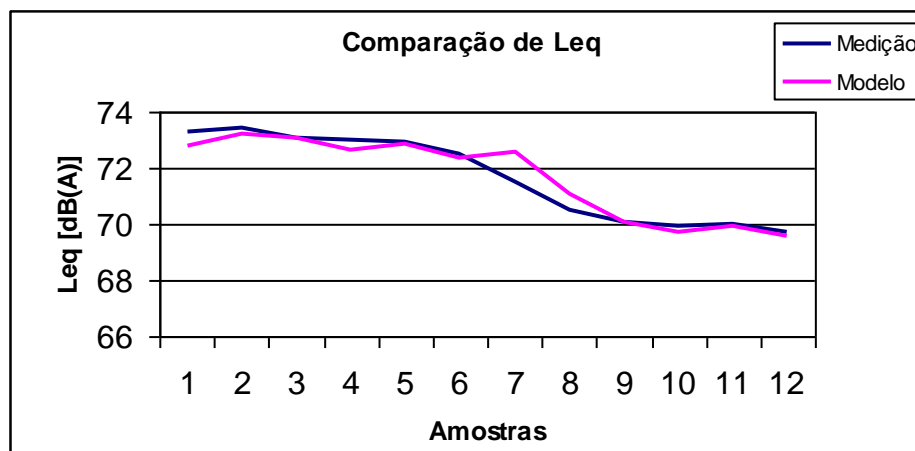


Figura 5 - Comparação entre valores medidos e curva do modelo matemático.

De acordo com o gráfico da Figura 5, percebe-se que os valores calculados não se distanciam de maneira significativa dos valores medidos. O desvio máximo encontrado entre as curvas foi 1,39%. o que permite afirmar que o modelo matemático encontrado pode predizer satisfatoriamente os níveis equivalentes do ruído gerado pelo tráfego na Avenida José Malcher em Belém-PA.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi ajustado um modelo matemático para a predição do nível de pressão sonora na Avenida Governador José Malcher em Belém-PA. O modelo matemático determinado ajusta-se muito bem aos valores medidos de NPS. Verificou-se nas medições que o valor máximo alcançado do nível equivalente de emissão do ruído de tráfego medidos na avenida foi de 72,5 dB(A) no período noturno. Segundo os limites definidos pela lei nº 7990 de 10 de janeiro de 2000, o nível equivalente médio de ruído de tráfego nessa área ultrapassa em média os níveis permitidos pela lei citada em 12,5 dB(A). A população que reside ou trabalha nessas áreas, sofre os efeitos deste ruído, o que representa riscos à saúde e prejuízo a qualidade de vida. Portanto, ações de controle de ruído devem ser tomadas, tais como diminuição de tráfego pesado, diminuição da velocidade, uma boa conservação das rodovias ou mesmo barreiras acústicas entre os prédios e a via. Nesse sentido o modelo matemático encontrado pode auxiliar nessas ações para a simulação do ruído gerado após serem tomadas medidas de redução de fluxo de veículos, como por exemplo, ações de redução na quantidade ou na velocidade dos veículos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento, Rio de Janeiro, 2000.

BANERJEE, D.; CHAKRABORTY, S.K.; BHATTACHARYYA, S; GANGOPADHYAY, A. Modeling of road traffic noise in the industrial town of Asansol, India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 13, issue 8, p.539-541, 2008

BELÉM. Prefeitura Municipal. Lei Municipal nº 7.990, de 10 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o controle e o combate à poluição sonora no âmbito do Município de Belém.. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/semma/paginas/lei_7990.htm>. Acesso em: 16 maio 2006.

BISTAFA, S. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006, 368 p.

CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; ZANNIN, P. H.T. Modelamento matemático da emissão sonora em rodovias federais que adentram áreas urbanas. *Revista de Acústica*, v. 34, p. 22 – 30, 2003a.

CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; ZANNIN, P.H. T. The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. *Cities*, v. 20, p.23-29, 2003b.

FERNANDES, J. C.. *Acústica e Ruídos*. Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP . Câmpus de Bauru, 2002. 98p.

GIVARGIS, S.; KARIMI, H. A basic neural traffic noise prediction model for Tehran's roads. *Journal of Environmental Management*, v. 91, Issue 12, p. 2529-2534, 2010.

RAHMANI, S.; MOUSAVI, S. M.; KAMALI, M. J. Modeling of road-traffic noise with the use of genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, v. 11, Issue 1, p. 1008-1013, 2011.

RAMÍREZ, A.; DOMÍNGUEZ, E. Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models. *Applied Acoustics*, v. 74, Issue 4, p. 614-621, 2013.

STEELE, C. A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models. *Applied Acoustic*, Camberra, v.62, p. 271-287, 2001.

SUKSAARD, P., SUKASEM, P.; TABUCANON, S.M.; AOI, I.; SHIRAI, K.; TANAKA, T. Road Traffic Noise Prediction model in Thailand. *Applied Acoustic*, Thailand, v. 58, p. 123-130, 1999.