

Correlação entre os modelos de predição dos níveis de ruído com os medidos em Brasília

Vamberto Machado dos Santos Filho¹, Rosa Maria Sposto¹

¹Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília – UnB – Brasília – DF – Brasil

vambertomfilho@gmail.com, rmsposto@unb.br

Abstract. *The noise caused by the traffic of vehicles is a common problem in large urban centers. The extrapolation of the maximum values allowed by standard regulation can cause from stress crisis to physiological problems, that's why it's needed to control and predict the sound intensities caused by these noise factors. Several authors have proposed equations to predict the noise level due to traffic, but these equations do not represent reality in certain cities. In this article was possible to observe that the sound level measured was smaller than all of the experimentation values obtained by equations, thus requiring a specific study for the city of Brasilia-DF.*

Resumo. *O ruído causado pelo tráfego de veículos é um problema comum nos grandes centros urbanos. A extrapolação dos valores máximos permitidos pela norma pode causar desde crises de estresses até problemas fisiológicos, por isso a necessidade de controlar e prever as intensidades sonoras causadas por esses agentes de ruído. Diversos autores propuseram equações para a predição do nível sonoro devido ao tráfego de veículos, mas essas equações podem não representar a realidade em certas cidades. No artigo foi observado que o nível sonoro medido foi menor que todos os valores de predição obtidos pelas equações, necessitando assim de um estudo específico para a cidade de Brasília-DF.*

1. Introdução

A evolução do crescimento urbano e da densidade demográfica trouxe uma série de prejuízos entre os quais podem ser citados o conforto acústico dos moradores de grandes centros urbanos devido ao aumento do tráfego veicular.

Gerretsen (2003) afirma que os elementos e os materiais de construção empregados na habitação estão se tornando cada vez mais leves para facilitar a pré-fabricação. Desta forma, vedações verticais ou fachadas e lajes de coberturas tem apresentado menores espessuras, acarretando maior transmissão sonora (QUEIROZ, 2007).

Pimentel (1997) afirma que o ruído é um dos principais causadores de distúrbios de sono, estresse e perturbação do ritmo biológico. Este autor ainda aponta que a exposição ao ruído provoca, direta ou indiretamente, aumento do risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, fadiga mental, além da falta de privacidade da habitação, que gera insatisfação, irritação e violência no convívio social.

O crescimento populacional urbano, as más condições do transporte coletivo e as facilidades encontradas para a compra de veículos automotores, proporcionam um aumento significativo da frota de veículos automotores. Em Brasília-DF essa frota cresceu 154 % do ano 2000 até 2013 como é possível observar na Figura 1. O aumento dos veículos circulando nas cidades acarreta aumento da poluição sonora, visto que é o tráfego de veículos o maior emissor de ruído urbano (QUEIROZ, 2007).



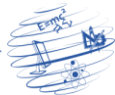
Figura 1 - Evolução da frota de veículos em Brasília-DF (DETRAN, 2013)

Em contrapartida, a preocupação com o desempenho acústico nas edificações foi sendo negligenciada durante muito tempo no Brasil. De acordo com Hammad (1983) em países de clima quente, fatores como a proteção térmica, insolação e ventilação são mais consideradas que os parâmetros acústicos. Esse panorama das construções brasileiras é preocupante, já que o ruído urbano aumentou enquanto o isolamento sonoro perdeu eficiência (DUARTE, 2005).

Silva e Goldner (2004) afirmam que o problema do ruído sonoro tende a se agravar ao longo do tempo, confirmando assim, a necessidade de corretas predições sonoras, a fim de proporcionar dados para os projetistas de edifícios.

2. Objetivos

Verificar a adequação dos modelos de predição sonoras existentes com os níveis de ruído encontrados nas vias de Brasília-DF



3. Revisão bibliográfica

3.1. O ruído

Knudsen e Harris (1959) definem ruído como som indesejável. Assim o ruído se caracteriza pela existência de muitas amplitudes e frequências ocorrendo simultaneamente de maneira não harmônica. A fronteira entre o som e o ruído não pode ser definida com precisão, pois cada indivíduo apresenta uma reação diferente ao som e ao ruído, que depende dentre outros fatores, de seu estado emocional e de sua personalidade (CALIXTO, 2002).

No Brasil existem normas e legislação específica para o controle do ruído urbano. A resolução do CONAMA N°002 de 1990 instituiu o Programa Nacional de Educação e Controle de Poluição – intitulado Silêncio, que considera problemática a poluição sonora nas áreas urbanas, indicando que o ruído em excesso é uma séria ameaça à saúde, ao bem-estar público e a qualidade de vida. Além de instituir o programa Silêncio, a resolução respeita os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 10151:2000. Essa norma fixa valores máximos de comparação do nível de pressão sonora equivalente medido na banda A (LAeq) com os valores de nível de critério de avaliação NCA por tipos de áreas e por períodos do dia (Tabela 1).

Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (ABNT NBR 10151:2000)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	60
Área predominantemente industrial	70	65

No Distrito Federal, a poluição sonora e seus problemas são abordados na Lei Distrital N° 4.092 de Janeiro de 2008 (CLDF, 2008).

3.2. Modelos de predição de nível sonoro

Partindo da preocupação com o conforto acústico dos habitantes de um centro urbano, surgiram diversos trabalhos com o intuito de obter panoramas da situação da poluição sonora.

Steele (2001) afirma que durante os anos de 1950 e 1960, os primeiros modelos de previsão de ruído de tráfego começaram a ser criados, utilizando primeiramente, a medição do ruído de um único veículo, e posteriormente observando que o ruído de



tráfego em uma via dependia da quantidade de veículos trafegando por unidade de tempo. De acordo com Sattler *et al* (1998) as equações de previsão do nível de ruído urbano a partir das informações do volume de tráfego têm substituído as medições sistemáticas os quais, normalmente demandam tempo e recursos.

Os primeiros trabalhos desenvolvidos nesse tema foram o de Lewis (1973), que verificou o ruído gerado por um único veículo em uma via e o de Barry e Regan (1978) que publicaram um guia para previsão do ruído em rodovias.

O departamento de transporte do Reino Unido disponibilizou um procedimento para predição dos níveis de ruídos causado por tráfego de veículos em 10% do tempo (L_{10}), levando em consideração o volume de tráfego (q), a velocidade média dos veículos (v) e o percentual de veículos pesados (p). A partir da obtenção da previsão do L_{10} é possível encontrar o nível de ruído equivalente (L_{eq}) a partir da Eq.1.

$$L_{10} = L_{eq} + 3 \quad (1)$$

Mais tarde Garcia e Faus (1991) mediram os níveis de ruído continuamente por períodos de 24 horas em diferentes cidades espanholas propondo uma equação para os cálculos de L_{eq} levando em consideração o fluxo de veículos. Com uma metodologia semelhante, Chakrabarty *et al* (1997) propôs outra equação que levava em consideração os fluxos de veículos leves e pesados.

Sattler (1998) também propôs equações para a previsão dos níveis de ruídos de tráfego. Para isso, foram realizadas 30 medições em 10 diferentes locais de Porto Alegre. Na primeira equação o autor utilizou-se de uma regressão linear para a obtenção da equação enquanto na segunda, foi utilizada uma regressão não linear.

Nunes (1998) em seu estudo desenvolveu uma equação de predição do ruído de tráfego para intersecções semaforizadas na cidade de Santa Maria-RS. Suas medições aconteceram nos horários de pico de fluxo de tráfego. Seus dados foram comparados.

As equações propostas por esses autores serão utilizadas para a comparação entre seus resultados com os níveis medidos em Brasília-DF.

4. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho tomou-se como base o estudo e a aplicação das equações de predição de nível sonoro e a medição dos níveis sonoros em Brasília – DF.

Foram necessárias a realização de 5 etapas:

- 1) Caracterização espacial do ambiente de estudo e escolha das vias de estudo;
- 2) Obtenção dos dados de fluxo de tráfego das vias;
- 3) Cálculo dos níveis de predição sonora;
- 4) Localização dos locais de medição e;
- 5) Medição in loco dos níveis de pressão sonora equivalentes com ponderação A (L_{Aeq}).

Na primeira etapa, foram identificadas as principais fontes de ruídos que afetam as edificações no local de análise. As vias escolhidas para estudo foram duas de alto fluxo de veículos em Brasília, o eixo rodoviário de Brasília (Eixão Norte – DF 002) e o eixo rodoviário oeste (eixinho norte W). O motivo para a escolha dessas vias é a grande quantidade de reclamações de desconforto do ambiente interno dos usuários das edificações habitacionais adjacentes a essas vias. Na Figura 2 é possível observar o impacto dos níveis sonoros na fachada dos edifícios. Os efeitos da atenuação do ruído de tráfego pela vegetação foram desconsiderados, já que como afirma Hendricks (1995) à faixa de vegetação (20 metros) não é suficiente para causar grandes reduções sonoras.



Figura 2 - Indicação dos níveis de pressão sonora equivalentes (IBRAM, 2013)

Posteriormente, foram obtidos os dados de fluxo veicular, e procedeu-se à análise dos relatórios cedidos pelos Departamentos de Estrada e Rodagem (DER-DF) e do Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN-DF). Os relatórios são realizados com o auxílio dos CEVs (Controlados eletrônicos de velocidade) que além de fotografar os veículos que ultrapassam o limite de velocidade da via, registram ao longo das 24 horas do dia, por hora, o número total de veículos que passam naquela via (JESUS, 2013). Os relatórios fornecidos contêm informações do fluxo de veículos, por porte veicular, por hora, durante os meses de Abril e Maio de 2014.

Em posse dos relatórios de fluxo veicular nas vias a serem analisadas, foram identificados os horários de maior fluxo veicular e conseqüentemente maiores níveis sonoros. A identificação dos picos de fluxo veicular foi necessária para a escolha dos horários de medição, que no caso foi de 7 as 9 e das 17 as 19 horas.

Foram realizados os cálculos de predição do nível de pressão sonora de acordo com os modelos propostos por diversos autores (Tabela 2) e posteriormente comparados com os resultados medidos. As equações de predição de nível de pressão sonora de tráfego

utilizam de diversas variáveis como, por exemplo, o fluxo veicular (q), fluxo de veículos leves (VL) e pesados (VP), velocidade médias (V) entres outros.

Tabela 2- Modelos de predição sonora

Autor	Equação de predição de do nível de pressão sonora
HMSO (1988)	$L_{10} = 10\log 10q + 33\log 10(v + 40 + 500/v) + 10\log 10(1 + 5p/v) - 26,6$
Garcia & Faus (1991)	$L_{eq} = 48,6 + 8,1\log(q)$
Chakrabarty (1997)	$L_{eq} + 20\log(d) = 53,8 + 17,2\log(q)$
Sattler (1998) L	$L_{Aeq} = 65,4 + 4,67 \cdot 10^{-3} \cdot (q)$ (Linear)
Sattler (1998) NL	$L_{Aeq} = 38,6 + 10,97 \cdot \log(q)$ (Não linear)
Nunes et al (1999)	$L_{Aeq} = 8,0176\log(q) + 51$

Na quarta etapa, analisaram-se os dados apresentados pelo mapa de ruído elaborado pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM, 2013), a fim de escolher os locais de medição. No relatório desenvolvido pelo IBRAM são apresentados os mapas de ruído das principais vias de Brasília, entre elas o eixo rodoviário de Brasília e o eixo rodoviário oeste. Para a confecção desse mapa, foram realizadas simulações e medições in loco a fim de validar o modelo em estudo. Os locais de medição podem ser observados na Figura 3.



Figura 3 - Pontos de medição dos níveis sonoros

Por último, procedeu-se à realização das medições in loco dos níveis de pressão sonora relativos ao fluxo de veículos. Para essa medição, foi utilizado o equipamento Minipa MSL-1352C, ponderado na curva de calibração A, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 10151:2000, que especifica o método de medição de ruído aéreo externo.

O equipamento foi montado a 1,2 metros do chão e distante no mínimo de 2 metros de qualquer superfície refletora, conforme mostrado na Figura 4. As medições aconteceram durante 20 minutos no período compreendido entre as 7-9 horas e 17-19 horas, de segundo a sexta do mês de novembro, sendo definidos intervalos de registro de dados de 5 segundos, no nível de resposta rápida (fast) do equipamento, durante o período de medição.



Figura 4 - Montagem e posicionamento do equipamento de medição

Após as leituras, calculou-se o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A utilizando a Equação 2, onde L_i é o nível de pressão sonora lido em resposta rápida (fast) a cada 5 segundos, durante o período de medição do ruído e n é o número total de leitura.

$$L_{Asq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2)$$

Finalmente, os dados obtidos pelos cálculos dos níveis de pressão sonora utilizando as equações da literatura, a verificação do mapa de ruídos de Brasília e a quantificação *in loco* foram comparados e analisados quanto a sua representatividade.

5. Resultados e discussões

Como resultado da aplicação dos modelos é possível verificar a diferença gerada entre cada uma delas. Na Figura 5 encontra-se o comportamento de cada equação mediante ao fluxo de veículos das vias estudadas.

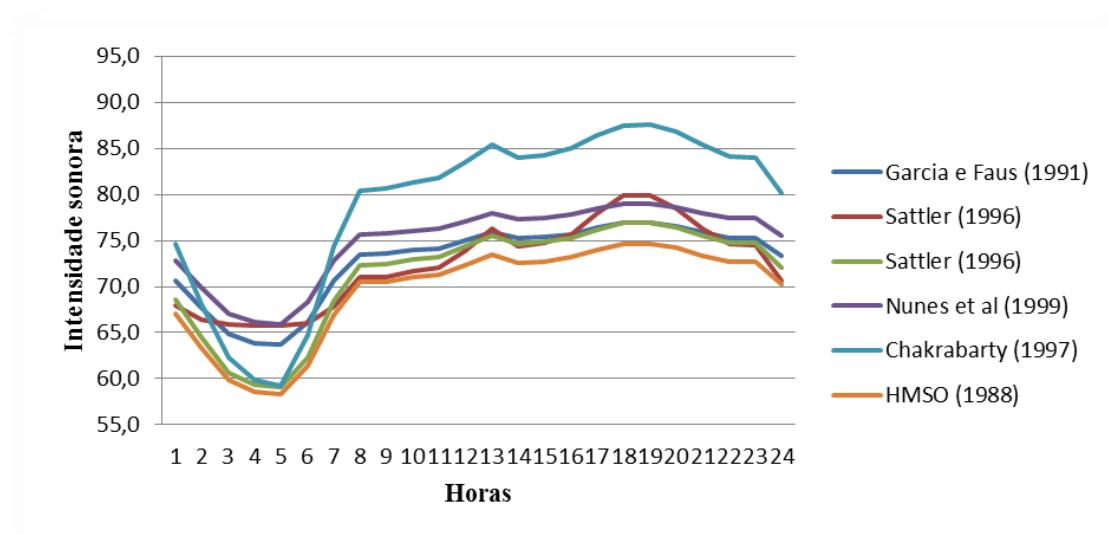
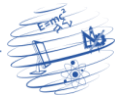


Figura 5 - Comportamento das equações de previsão sonora

Na Figura 5 é possível verificar que em alguns momentos as equações convergem para um valor próximo, geralmente em momentos de baixo fluxo de carros (entre 3 e 5 horas), onde o ruído de fundo é predominante na medição. Isso acontece quando o fluxo de tráfego é tão pequeno que, estatisticamente, o ruído produzido pelo tráfego não consegue ser expressivo, preponderando à medição do ruído de fundo.

Já no restante das horas, as equações se distanciam, como por exemplo, a de Charkrabarty (1997), que extrapola as outras equações e mostra um nível sonoro muito maior que os demais. Isso provavelmente acontece devido a peculiaridade dos dados obtidos por este autor, onde as suas medições aconteceram em Calcutá, além de ter sido dado enfoque nos usuários das edificações.



Em relação à correlação entre os valores obtidos pelas equações e os valores medidos *in loco* houve algumas diferenças. Devido ao urbanismo único de Brasília, os edifícios encontram-se afastados das vias de grande fluxo em média por 20 metros, diminuindo assim, a parcela de intensidade sonora refletida pelos mesmos. As equações também não levam em consideração a diminuição do fluxo de veículos e da velocidade, devido a congestionamentos, comuns nessas vias analisadas. Na Tabela 3 é possível observar a correlação entre as equações de predição e os níveis medidos.

Tabela 3 - Valores obtidos das equações de predição e os medidos *in loco* (dB)

Hora	Garcia e Faus (1991)	Sattler (1998) L	Sattler (1996) NL	Nunes <i>et al</i> (1999)	Chakrabarty (1997)	HMSO (1988)	Medido
7	73,5	71,0	72,4	75,7	80,4	70,5	69,4
8	73,6	71,1	72,4	75,7	80,6	70,6	70,3
9	73,9	71,7	72,9	76,1	81,3	71,0	72,5
17	76,9	79,9	76,9	79,0	87,4	74,7	72,1
18	76,9	79,9	76,9	79,0	87,6	74,7	73,4
19	76,5	78,5	76,4	78,6	86,8	74,2	73,1

A comparação mostra que os níveis sonoros medidos *in loco* são inferiores aos obtidos pelas equações de predição. O motivo para essa diferença é a proibição de circulação de veículos pesados no eixão (DF-002) e a distancia do local de medição das paradas de ônibus. A diferença entre os valores medidos e das equações pode ir de 0,3 dB quando comparados a equação do departamento de transporte do Reino Unido até a 15,3 dB quando comparados a equação de Chakrabarty (1997) como é possível ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Diferença entre os valores medidos e o resultado das equações

Hora	Garcia e Faus (1991)	Sattler (1996)	Sattler (1996)	Nunes <i>et al</i> (1999)	Chakrabarty (1997)	HMSO (1988)
7	4,1	1,6	3,0	6,3	11,0	1,1
8	3,3	0,8	2,1	5,4	10,3	0,3
9	1,4	-0,8	0,4	3,6	8,8	-1,5
17	4,8	7,8	4,8	6,9	15,3	2,6
18	3,5	6,5	3,5	5,6	14,2	1,3
19	3,4	5,4	3,3	5,5	13,7	1,1

É possível observar também que os valores medidos ficam acima do máximo estipulados pela ABNT NBR 10151:2000 para o conforto da população residencial, que é de 55 dB para períodos diurnos e 50 dB para períodos noturnos. De acordo com



Pimentel (1997) as intensidades sonoras produzidas acima do limite da norma podem causar distúrbios de sono, estresse e perturbação no ritmo biológico.

6. Conclusões

O ruído de tráfego é um problema comum em grandes cidades e que deve ser controlado para evitar problemas de saúde na população. As equações de predição sonora apresentam-se como uma ferramenta para auxílio aos projetos de urbanização e edificação. As características urbanísticas, assim como a infraestrutura, interferem na medição e criação dessas equações.

Brasília, por ser uma cidade com um urbanismo único, necessita de um estudo específico, já que quando comparados os valores medidos com os valores previstos existe uma clara discrepância. Podemos concluir ainda que a equação do departamento de transito do Reino unido foi a que mais se aproximou dos resultados medidos.

A preocupação com o controle do ruído deve ser aumentada, pois conforme as medições *in loco*, os níveis sonoros observados estão muito acima dos permitidos pelas leis e normas brasileiras.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Departamento de Estradas e Rodagem – DER.

8. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

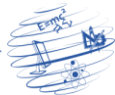
_____.NBR 10151. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2000

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL. “Lei nº 4.092 de Janeiro de 2008 – Controle da poluição sonora e limites máximos de intensidade de sons e emissão de ruídos resultantes de atividades urbana e rurais no Distrito Federal.” Brasília, 2008

CHACKRABARTY, D. *et al.* Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India. Acoustic society of America. Journal of Acoustical Society of America. 1997

CONSELHO REGIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. “Resolução Nº002 de 8 de março de 1990 – Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora”. 1990

GERRETSEN, E. “Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality”. DAGA’03. Aachen, 2003.



DEPARTMENT OF TRANSPORT (DOT) – Welsh Office. Calculation of Road Traffic Noise. London: HMSO, 1988.

DETRAN. “Estatística de veículos, 2013”. Disponível em <http://www.detran.df.gov.br/images/08-Agosto_Frota.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2014.

DUARTE, E. “Estudo do isolamento acústico da paredes de vedação da maradia brasileira ao longo de sua história”. Dissertação de Mestrado do Programa de pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2005.

GOLDINER, L, G.; SILVA, G, C. Modelos de predição de níveis de ruído e monóxido de carbono gerados pelo tráfego: O caso de Florianópolis. In. XVIII Congresso de pesquisa e ensino em transporte. 2004

HAMMAD,R.N.S.;GIBBS,B.M. The acoustic performance of building façade in hot climates: Part 1 – Courtyards. Applied Acoustic, nº. 16. 1983.

HENDRICKS, R.W. “Traffic Noise Attenuation as a Function Of Ground and Vegetation”. Technical Report of California Department of Transportation. Sacramento, California. 1995

IBRAM – Mapa de ruído de Brasília. 2013

JESUS, A.D.S. “Impacto Ambiental Sonoro sobre a Cidade de Águas Claras, Brasília – DF, com a Construção da Linha verde.” Trabalho de conclusão de curso em Ciências Ambientais. Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2013.

KNUDSEN, V.O.; HARRIS, C.M. Acoutical Design in Architeture. Fifth printing, july, 1959

NUNES, M. F. O *et al.* Medidas de atenuação do ruído de tráfego urbano para o conforto acústico em áreas residenciais. V ENCAC. Fortaleza, 1999.

PIMENTEL-SOUZA F. (1997). Efeitos do ruído estressante. Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC, vol. 1.

QUEIROZ, C. S. “Avaliação do isolamento sonoro nas fachadas de edifícios residenciais. Estudo de caso: O processo evolutivo na avenida Beira Mar/Florianópolis”. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2007

SATTLER, Miguel A. et al. Ruído de tráfego rodoviário: estimativas a partir do fluxo de veículos. In: ENCONTRO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 1998, Florianópolis. Anais ... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Acústica, 1998.

STEELE, C A. A critical review of some traffic noise prediction models. Applied Acoustic. 2001