

## **METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DO RUÍDO DE TRÁFEGO: ASPECTOS PRÁTICOS E DE PRECISÃO**

**Luiz Antonio P. F. de Brito (1)**

(1) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura, [labrito@bighost.com.br](mailto:labrito@bighost.com.br)  
Universidade de Taubaté, Cx Postal 476, Taubaté - SP, 88040-900, Tel.: (12) 36254183

### **RESUMO**

A poluição sonora é uma fonte de incômodo a população das cidades. A dinâmica urbana de crescimento das grandes cidades cada vez mais aproxima as rodovias e artérias de tráfego das áreas residenciais de maneira que este pode ser considerado umas das principais geradoras de ruído. Para que seja atenuada esta situação é necessário que haja uma metodologia de avaliação da energia sonora gerada por avenidas e rodovias para que medidas mitigadoras sejam tomadas antes de sua implantação. Os softwares comerciais existentes no mercado são uma opção, mas em algumas situações, inviáveis economicamente. O objetivo deste trabalho é analisar a correlação com a realidade brasileira de três modelos matemáticos de previsão de geração de energia sonora gerada pelo tráfego de veículos. Foram executadas medidas do nível de pressão sonora em pontos pré-determinados e comparados os resultados obtidos com o modelo. Os desvios entre o resultado prático e teórico são compatíveis com os obtidos em outros trabalhos, sendo que alguns utilizaram softwares comerciais. Assim pode-se concluir que a metodologia apresentada é simples e eficiente para análise do ruído gerado por vias de tráfego.

Palavras-chave: ruído rodoviário, decaimento de ruído

### **ABSTRACT**

Noise pollution is a source of annoyance to urban population. The growth dynamic of large cities is approximating residential areas to roads and traffic so that it can be considered a major noise generator. In order to attenuate this situation it is necessary to have a methodology to evaluate the sound energy generated by avenues and roads, prior to implement any mitigation measure. Commercial softwares available in the market are an option, but in some cases they are impracticable from an economical point of view. The objective of this work is to analyze the correlations, for Brazilian conditions, of three mathematical models that forecast sound energy generated by the traffic of vehicles. The sound pressure level were measured at pre-determined locations and compared with the results derived from the models. The differences between the in situ measurements and the model estimates are comparable with those obtained from related works which, in some cases, used commercial softwares. Therefore, it might be conclude that the presented methodology is efficient to analyze the generated noise from road traffic.

Keywords: road traffic, noise abatement

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora causa danos à saúde (física e psicológica) da população (NIEMEYER e SANTOS, 2001) e, do ponto de vista da percepção dos cidadãos, pode ser considerado um dos principais elementos de degradação ambiental na escala urbana (PEREIRA e SLAMA, 2001). Esta forma de poluição é de difícil controle devido sua diversidade de fontes, sua onipresença (NAGEM, 2004), sua livre propagação no meio urbano e em algumas vezes da proximidade entre a fonte sonora e o receptor.

A dinâmica urbana de crescimento das grandes cidades cada vez mais aproxima as rodovias e grandes artérias de tráfego de áreas residenciais, seja da população de baixa renda que naturalmente procura a periferia devido aos preços mais acessíveis, ou de alta renda, que procura maior espaço e segurança nos condomínios fechados. Os planos diretores, em geral, são omissos ou simplesmente ignorados, bastando vontade política da administração pública para achar uma brecha na lei, e assim, construir uma nova via. Sattler, Rott e Coradine (1995), concluíram que o ruído de tráfego é a primeira fonte de incômodo a população na cidade de Porto Alegre, Rolla (1996) também obteve como resultado que o ruído gerado pelo tráfego diurno de veículos é a maior fonte de incômodo à comunidade na região de Campinas. Niemeyer e Slama (1998) já alertavam para a degradação ambiental que o excesso de ruído gerava no meio urbano prejudicando atividades sociais. Ferreira *et al* (2007), na cidade de Ibiá (MG), Scherer, Piageti e Vani (2008) na cidade de Santa Maria (RS), Ventura *et al* (2008) na cidade de Florianópolis (SC) e Pinto e Moreno (2008) no Bairro de Copacabana na cidade do Rio de Janeiro (RJ) realizaram monitoramento do nível de pressão sonora e obtiveram resultados elevados onde a principal fonte de ruído é o tráfego de veículos que além de causar incômodo a população gera desvalorização imobiliária.

O dispositivo legal que pode auxiliar a melhoria desta situação é o processo de licenciamento ambiental que pode variar deste um simples Estudo Ambiental Simplificado (EAS), ou um Relatório Ambiental Preliminar (RAP), ou um Estudo de Impacto Ambiental acompanhado de um Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA). Em geral as pequenas rodovias (baixo volume de tráfego), alças de acesso, rotatórias, avenidas e ruas se enquadram na primeira e segunda categoria (EAS e RAP) devido sua baixa capacidade de impacto na população. As grandes vias urbanas, intermunicipais e estaduais, com elevado tráfego diuturno, principalmente de veículos pesados, se enquadram na terceira categoria (EIA RIMA). No caso de uma via se encaixar na segunda ou terceira categoria é necessário que haja um modelamento matemático para avaliar se a energia sonora gerada pela via se enquadra nos níveis pré-estabelecidos, em geral, pela NBR 10151 (2000), *Avaliação de ruídos em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*. Esta norma aborda níveis adequados ao conforto da população independente do tipo de fonte de ruído. Não existe uma normalização específica no Brasil para a avaliação do ruído gerado pelo tráfego de veículos sendo que alguns autores como Freitas e Freitas (2008) e Musafir (2008) alertam para a dificuldade de cumprir os requisitos da NBR 10151 (2000). Apesar da deficiência da NBR 10151 (2000) nesta questão este procedimento pode antever problemas e com isso gerar medidas mitigadoras de maneira que a população seja poupada do incômodo.

A análise matemática necessária a avaliação do incômodo a população é baseada em equações geradas por regressão linear de dados obtidos através de medições ou modelamento físico acompanhadas das condições de contorno de uma situação particular, quase sempre para uma realidade europeia, norte americana ou asiática. Com o advento no Brasil de alguns softwares comerciais de análise de propagação de ruído as agências ambientais estaduais passaram a solicitar que esta avaliação fosse executada com essa ferramenta. Estes possuem uma interface gráfica onde através de uma escala de cores pode-se facilmente visualizar os níveis de ruído gerados por uma via de tráfego. A dificuldade deste tipo de análise é o custo da modelagem, já que estas são ferramentas licenciadas, cotados em moeda estrangeira, que necessitam de atualizações anuais, além de exigir dados de entrada precisos e nem sempre disponíveis ou necessários para a avaliação. A alternativa é desenvolver um memorial de cálculo que aborde as variáveis ambientais envolvidas no decaimento da energia sonora. A diferença entre os dois métodos é que utilizando o memorial de cálculo não há uma visualização gráfica da situação da energia sonora, mas seu custo, tanto financeiro quanto de tempo é bem inferior.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a correlação com a realidade brasileira de três modelos matemáticos de previsão da energia sonora gerada pelo tráfego de veículos. Foram efetuadas medidas do nível de pressão sonora em duas rodovias de maneira que fosse possível a comparação do modelo teórico apresentado. As diversas formas de decaimento da energia sonora são consideradas com suas limitações. O modelamento proposto também foi comparado com os resultados obtidos através de um software comercial

### 3. MÉTODO

A análise dos modelos propostos consiste em abastecê-los com os dados de entrada necessários e comparar os resultados obtidos com medições de nível de pressão sonora a distâncias conhecidas de modo que seja possível comparar o modelo teórico com os resultados práticos. A modelagem para avaliação da propagação da energia sonora envolve duas etapas, a primeira necessária para a predição do nível de pressão sonora gerado por uma via e a segunda na análise do decaimento da energia sonora devido aos vários fatores presentes no ambiente em questão. Foram coletados dados, volume de tráfego de veículos leves e pesados, velocidade, tipo de solo, necessários para que o modelo seja abastecido. Nos mesmos locais onde os dados foram obtidos foram executadas medidas do nível de pressão sonora em uma distância conhecida da via para que o resultado teórico pudesse ser comparado com o modelo desenvolvido.

#### 3.1. Modelagem para predição do nível de pressão sonora gerado por uma via de tráfego

Para que uma equação de predição tenha precisão no resultado seus dados de entrada devem ser abrangentes de modo que possam quantificar todas as variáveis envolvidas no processo de geração de energia. Uma destas modelagens é a proposta por Tancatcha *et al* (2005) que é baseada na propagação perpendicular em relação a via de tráfego da energia sonora gerada por cada tipo de veículo, no total oito categorias: automóveis, caminhões leves, médios e pesados, ônibus, motocicletas e *trailers* médios e grandes. A primeira dificuldade desta modelagem, e ao mesmo tempo vantagem, é a necessidade de uma contagem precisa do volume de tráfego (v/h) para cada uma destas categorias o que na verdade gera uma maior precisão no resultado. Como no Brasil não há tradição de tamanha precisão pode-se simplificar o processo utilizando apenas veículos leves (automóveis) e pesados (caminhões). Para cada uma destas categorias deve ser calculado o nível de ruído de passagem do veículo,  $L_{eq\ 10s}$ , que representa a energia sonora emitida durante a passagem de um veículo por 10 segundos e são dadas pelas Equações 1 e 2 respectivamente em dB(A), sendo  $v$  a velocidade de veículo em Km/h.

$$L_{eq10s}(leves) = 4,158 * \log(v) + 61,46 \quad \text{Equação 1}$$

$$L_{eq10s}(pesados) = 8,061 * \log(v) + 59,818 \quad \text{Equação 2}$$

Os resultados obtidos nestas equações devem ser inseridos na Equação 3 de modo que se calcule o nível de ruído equivalente para um período de 1 hora,  $L_{eq\ 1h}$ , a 15 metros do canteiro central da via ( $d_0 = 15$  m), que pode ser extrapolado para uma distância qualquer  $d$ . O  $L_{eq\ 1h}$  também é função do volume de tráfego  $q$  (v/h) e deve ser calculado para todas as oito categorias, ou como neste trabalho apenas duas (leves e pesados), e depois somados logaritmicamente. O  $L_{eq\ 1h}$  é dado pela Equação 3 em dB(A).

$$L_{eq1h} = L_{eq10s} + 10 \log \left( \frac{d_0}{d} \right)^{1+\beta_{ef}} + 10 \log q - 25,563 \quad \text{Equação 3}$$

Esta modelagem também aborda a absorção das ondas sonoras de acordo com o tipo de solo, rígido ou macio. Como na maioria das vezes o tipo de solo não é constante entre a via e o receptor pode-se através da Equação 4 determinar uma média ponderada do coeficiente  $\beta_{ef}$  sendo  $\% \beta_{macio}$  a porcentagem de solo macio existente entre a via e o receptor. Considera-se  $\beta_{macio} = 0,5$  e  $\beta_{rígido} = 0$ .

$$\beta_{ef} = \frac{\% \beta_{macio} * 0,5}{100} \quad \text{Equação 4}$$

Outra modelagem é a proposta pela *Her Majesty's Stationery Office* (HMSO, 1988), do Departamento de Transportes do Reino Unido, Equação 5. Nesta equação são considerados: o volume de tráfego  $q$  (v/h), velocidade de veículo  $v$  ( Km/h), e a quantidade de veículos pesados em % ( $p$ ). Este modelo é válido no caso da fonte estar a 0,5m do solo para vias de 7,0m de largura no mínimo. O nível de pressão é obtido para uma distância de 13,5 metros do meio fio. Como a Equação 5 fornece o nível estatístico  $L_{10}$  (onde apenas 10% das medidas instantâneas obtidas no período de integração superam este valor) deve-se

através da Equação 6 obter o  $L_{eq}$  proposta por Alexandre (1975).

$$L_{10} = 10 * \log q + 33 * \log \left( v + 40 + \frac{500}{v} \right) + 10 \log \left( 1 + \frac{5 * p}{v} \right) - 26,6 \quad \text{Equação 5}$$

$$L_{eq} = L_{10} - 3 \quad \text{Equação 6}$$

A modelagem apresentada pela HMSO (1988) não aborda o decaimento do ruído para distâncias maiores que 13,5 metros nem a absorção das ondas sonora pelo solo como faz o modelo proposto por Tancatcha *et al* (2005), devendo este ser incorporado ao cálculo posteriormente. No caso do decaimento do nível de pressão sonora com o aumento da distância existem dois tipos de fontes de ruído: fonte pontual e fonte linear. São consideradas fontes lineares as avenidas e estradas com tráfego intenso e constante e fontes pontuais os veículos trafegando isoladamente. O decaimento  $D_l$  para uma fonte linear e  $D_p$  para uma fonte pontual dão dadas pelas Equações 7 e 8 respectivamente, sendo  $d_0$  a distância da fonte ao medidor de pressão sonora e  $d$  é a distância da fonte até o local onde se quer calcular o decaimento. Uma via de tráfego também pode alternar sua característica de decaimento de energia sonora, por exemplo, no caso de um alto e constante volume de tráfego no período diurno com os veículos próximos uns aos outros o decaimento da energia sonora dá-se através da Equação 7, mas na mesma via, no período noturno, com um volume menor e inconstante o decaimento dá-se pela Equação 8. Isto ocorre, pois no período diurno a fonte de ruído é a via (linear) e no noturno são os veículos (pontual).

$$D_l = 10 * \log \left( \frac{d_0}{d} \right) \quad \text{Equação 7}$$

$$D_p = 20 * \log \left( \frac{d_0}{d} \right) \quad \text{Equação 8}$$

O efeito de absorção do solo pode ser obtido nos ábacos encontrados em Gerges (2000). No caso para solo gramado a atenuação (na frequência de 250 Hz) é de aproximadamente 5dB para cada 100m, ou seja 0,05dB/m

A modelagem proposta por Ego (2001) é dada pela Equação 9 e também aborda o volume de tráfego  $q$ , a velocidade  $v$ , a distância de cálculo  $d$  e incorpora o tipo de pavimento  $KC$ , que no caso de pavimento asfáltico é 4 (MAIA, 2003) e a largura da via  $w$ . Assim como no modelo do HMSO (1988) há a necessidade do cálculo a parte do decaimento do ruído devido ao efeito de absorção do solo, se for o caso.

$$L_{eq} = 10 * \log q + 20 * \log v + 10 \log \left( d + \frac{w}{3} \right) + KC + 14 \quad \text{Equação 9}$$

Outras formas de decaimento do ruído podem ser incorporadas aos modelos propostos. Zonas de densa folhagem produzem uma atenuação na pressão sonora, geralmente mais perceptível nas altas frequências. Folhagens densas podem ter atenuação de até 8dB/100m, para árvores duras 15dB/100m e plantações de pinhos 20dB/100m, nas faixas de 1000Hz (GERGES, 2000). Para tal é necessário que haja grupos de vegetação de pelo menos 50 metros de largura. Considera-se um grupo de vegetação quando não se consegue contato visual a uma distância superior a 2 metros. Esta não é uma situação comum no meio urbano, pois as faixas de domínio das rodovias em geral são utilizadas para área de escape de veículos em caso de acidente e portanto são livres.

A absorção da energia sonora irradiada através do fluido de propagação se deve ao fato do mesmo ser um meio perfeitamente elástico, e durante suas sucessivas compressões e rarefações, ocorrem processos internos oriundos das combinações dos efeitos de viscosidade e condução do calor durante o ciclo de pressão da onda acústica. Este efeito é perceptível apenas a grandes distâncias (MAKAREWICZ, 1993) o que torna a modelagem ineficaz já que a essa distância outras fontes de ruído além da via analisada podem influenciar a condição ambiental.

Barreiras acústicas conseguem gerar uma boa atenuação de ruído quando construídas próximas as fontes de ruído, neste caso a via de tráfego. O cálculo de atenuação de uma barreira não será discutido neste trabalho, pois é bastante extenso e detalhado, podendo se encontrado em Watts (1997), Gerges (2000) e outras referências.

### 3.2. Levantamento de dados para aplicação da modelagem

Foram escolhidos para aplicação dos modelos propostos três locais onde a principal fonte de ruído é o rodoviário de maneira que se pudesse avaliar a eficiência da formulação desenvolvida. Os pontos de medição 1 e 2 estão localizados no trevo de acesso da cidade de Pitangueiras e o ponto 3 no trevo de acesso a cidade de Sertãozinho, ambas no Estado de São Paulo, e são ilustrados nas Figuras 1 e 2.



Figura 1- localização dos pontos de medição 1 e 2



Figura 2- localização dos pontos de medição 3

O medidor de nível de pressão sonora utilizado foi QUEST 2200, tipo II, série KOG050005 e calibrador CAL 3000, tipo I, série N373168 calibrados por laboratório pertencente à Rede Brasileira de

Calibração (RBC). O medidor de pressão sonora recebeu ajuste de calibração no início das medições e verificação ao final através do calibrador acústico. O procedimento utilizado é o prescrito pela NBR 10151 (2000). O medidor de pressão sonora foi posicionado a pelo menos 1,2 metros do solo e a 2,0 metros de muros e paredes com protetor de vento. O mesmo foi ajustado na escala de compensação “A” com resposta rápida (fast). A NBR 10151 (2000) não especifica o tempo de medição. Nunes (1998), Nunes (1999), Sattler (1999), Arruda (2000), Murgel (2000), Niemeyer (2001), Valadares (2001)) indicam um tempo de medição de pelo menos 5 minutos podendo ser de até 30 minutos, dependendo da variabilidade do volume de tráfego. Neste trabalho o tempo de integração para o cálculo do  $L_{eq}$  foi de 15 minutos. As Figuras 3 e 4 ilustram os pontos de medição 2 e 3



Figura 3- Vista da via de tráfego a partir do ponto de medição 2



Figura 4- Vista da via de tráfego a partir do ponto de medição 3

Nos três pontos foram feitas contagem do volume de tráfego de veículos leves e pesados tanto da via principal, quando da marginal. A distância do ponto de medição ao centro da rodovia também foi coletada. A modelagem foi montada nos três sistemas propostos: Tancatcha *et al* (2005), Equação 3, HMSO (1988), Equação 6 e Ego (2001), Equação 9. No modelo proposto pela HMSO (1988) também foram utilizadas as Equações 7 para o cálculo do decaimento do ruído de 13,5 metros até a distância desejada da via principal e Equação 8 para o mesmo cálculo da marginal. A atenuação do ruído devido à absorção do solo também foi aplicada no modelo da HMSO (1988) e Ego (2005).

Holts e Akkeman (2008) utilizaram um software comercial para avaliação do ruído gerado por uma rodovia em um empreendimento residencial. Para calibrar o software realizaram medidas do nível de pressão sonora a 25 metros da rodovia, e contagem de veículos leves e pesados e compararam o resultado prático (medido) e teórico (software). Os dados de entrada de Holts e Akkeman (2008) também foram utilizados no modelamento proposto e os resultados obtidos foram comparados com o real e o teórico.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nas três modelagens propostas são apresentados na Tabela 1. O modelo proposto pela HMSO (1988) resultou em uma variação máxima de 1,7 dB(A) no ponto de medição 2 e inferior a 1 dB(A) nos demais. O modelo proposto por Ego (2001) obteve desvios inferiores a 1 dB(A) nos 3 pontos de medição e o Tancatcha *et al* (2005) apresentou desvios superiores a 2dB(A) nos pontos 1 e 2 e desvio zero no ponto de medição 3.

Estes resultados estão compatíveis com outros estudos similares como Rochat (2001) que avaliou a modelagem proposta pela Federal Highway Administration's (FHWA), Traffic Noise Model<sup>®</sup> (TNM<sup>®</sup>), e obteve erros da ordem de 1,5 dB(A) para distâncias aproximadas de 70 metros e até 4 dB(A) para distâncias de 140 metros. Cho *et al* (2004) testou a modelagem proposta pela ISO 9613 (1996) *Acoustics attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: general method of calculation* em 12 locais próximos a rodovias na Coréia e encontrou desvios na ordem de 2 a 4,5 dB(A). Nesta pesquisa o volume de tráfego e a velocidade dos veículos foram monitorados em tempo real para melhorar a precisão da modelagem.

Os valores superiores ao real gerados por Tancatcha *et al* (2005) podem ser explicados pela simplificação adotada já que a modelagem foi desenvolvida para 8 categorias de veículos (caminhões leves, médios, pesados, ônibus, trailers grandes e pequenos, automóveis e motocicletas) e na verdade foi feita a consideração de apenas veículos leves (automóveis e motocicletas) e pesados (caminhões de todos os tipos e ônibus). Das modelagens propostas a que apresentou maiores desvios foi a Tancatcha *et al* (2005), mas

considerando que os mesmos são positivos, ou seja maiores que o real, estão a favor da comunidade, pois acarretará em medidas de redução de ruído talvez maiores que as necessárias.

Tabela 1 – Dados de entrada nos modelos propostos pela HMSO (1988), Ego (2001) e Tancatcha (2005), resultado do cálculo em comparação com o resultado medido

PM 01	Velocidade Km/h	VDM v/h	% de Veículos pesados	Distância m	L <sub>eq</sub> HMSO (1988) dB(A)	L <sub>eq</sub> Ego (2001) dB(A)	L <sub>eq</sub> Tancatcha (2005) dB(A)	L <sub>eq</sub> medido dB(A)
principal	80	1150	15,6	80	61,6	60,8	62,8	
marginal	50	53	29,2	60	43,6	44,7	50,1	
				Σ	61,6	60,9	63,0	59,8
PM O2								
principal	80	1150	15,6	65	63,3	61,6	64,1	
marginal	70	53	29,2	55	45,9	48,0	53,2	
				Σ	63,4	61,8	64,5	61,7
PM O3								
principal	100	1372	18,2	130	59,6	60,7	59,1	
marginal	50	34	21,4	110	33,0	40,3	44,2	
				Σ	59,6	60,7	59,2	59,3

As modelagens propostas apresentaram boa correlação com os resultados obtidos por Holts e Akkeman (2008) tanto nas medições do nível de pressão sonora quanto na simulação em um software comercial, conforme mostra a Figura 5. A diferença entre os resultados gerados pelas três modelagens propostas não é superior a 0,5 dB(A), sendo inferior a 1 dB(A) quando comparado com o software e cerca de 2 dB(A) em relação ao medido. Cho *et al* (2004) comparou o nível de pressão sonora medido com o simulado através da modelagem proposta pela ISO 9613-2 (1998) e um software comercial e obteve desvios (software e medição) da ordem de 2 dB(A), compatíveis com o este trabalho.

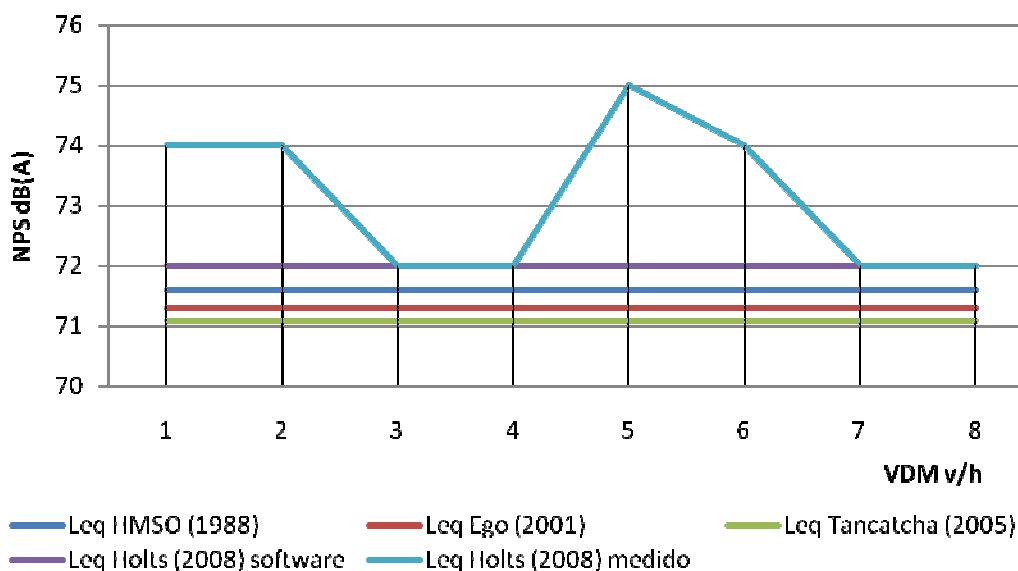


Figura 5 – Comparação dos resultados obtidos nos modelos propostos por HMSO (1988), Ego (2001) e Tancatcha *et al* (2005) e o simulado em software e medido por Holts e Akkeman (2008)

Deve-se ressaltar que o fluxo de veículos de uma via não é constante e representa um dado médio de um período analisado. No momento de uma medição, o nível de pressão sonora obtido representa a energia sonora gerada pelo fluxo de veículos daquele dado momento, que pode ser diferente da média utilizada na amostragem. Este fato pode ser comprovado na Figura 5 onde medições em 8 pontos em uma via, a uma mesma distância (25 m), nas mesmas condições topográficas, apresentaram resultados diferentes, o que pode

ser justificado pela variação do volume de tráfego entre as medições realizadas (ALABEROLA *et al*, 2005). Assim as diferenças de resultados entre as modelagens propostas e os resultados obtidos nas medições podem ser consideradas adequadas a precisão que se busca, mesmo porque a percepção humana do ruído não distingue diferenças menores que 2 dB(A). Outro fator a se considerar é a velocidade dos veículos que trafegam na via, nem sempre a permitida para o local que geralmente é a considerada para a análise.

A Figura 6 ilustra a comparação de resultados entre as 3 modelagens propostas para uma velocidade de 100 km/h, e 25% de veículos pesados a 13,5 m da via (padrão HMSO, 1988). Pode-se ver uma forte correlação de dados entre Ego (2001) e HMSO (1988) e novamente Tancatcha *et al* (2005) com resultados maiores.

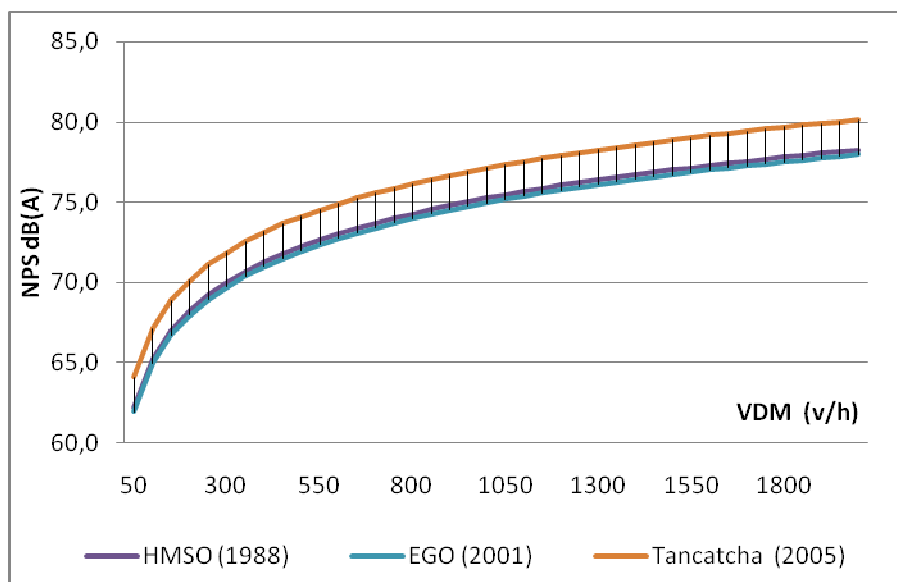


Figura 6 –Projeção da variação do VDM e NPS nos modelos propostos por HMSO (1988), Ego (2001) e Tancatcha *et al* (2005)

A utilização das equações para decaimento do ruído com o aumento da distância e efeito de absorção do solo completaram o modelo proposto por HMSO (1988) já que seu resultado é para uma distância padrão de 13,5 metros. O modelo proposto por Ego (2001) já incorpora a variação do ruído com o aumento da distância devendo ser apenas acrescido da análise do decaimento devido ao efeito de absorção do solo. O modelo proposto por Tancatcha *et al* (2005) já incorpora estas variáveis e apresenta outras vantagens como poder considerar na análise diferentes velocidades para cada tipo de veículo conforme o limite da via, Equações 1 e 2, mas apresenta a desvantagem de necessitar de uma contagem qualificada e precisa na formulação, nem sempre disponível.

A modelagem proposta também possibilita o controle das condições de contorno da análise de modo que seja possível obter informações valiosas em uma avaliação de incômodo a população. Por exemplo, através dos dados da Tabela 1 pode-se concluir que o ruído gerado pelo tráfego de veículos nas marginais, nos três pontos de medição, não influi nos receptores, sendo claramente o ruído gerado pela via principal a fonte de incômodo, já que pelo Nível Crítico de Avaliação (NCA) da NBR 10151 (2000) os níveis máximos permitidos deveriam ser de 55 dB(A) nos pontos de medição 1 e 2 e 50 dB(A) no ponto de medição 3. Desta maneira as medidas mitigadoras, por exemplo, barreiras acústicas, deveriam ser aplicadas na via principal. Outra possibilidade é a de se alterar as equações de modelagem conforme a necessidade, por exemplo, o modelo proposto por Tancatcha *et al* (2005) pode ser utilizado quando os dados disponíveis são detalhados (contagem de veículos por categorias) e os da HMSO (1988) e Ego (2001) quando são distinguidos em apenas veículos leves e pesados.

## 5. CONCLUSÕES

As modelagens propostas apresentaram coerência com os resultados das medições sendo confiáveis para aplicação em trabalhos de avaliação de geração de energia sonora por vias de tráfego. Os desvios encontrados neste trabalho são similares a outros existentes na literatura tanto quando comparados com o nível de pressão sonora real (medido) ou com os resultados obtidos em simulação de softwares comerciais.



Em situações de campo livre e com poucas interferências topográficas a utilização da formulação de decaimento de ruído com o aumento da distância e efeito de absorção do solo completa os modelos apresentados, HMSO (1988) e Ego (2001). O modelo apresentado por Tancatcha *et al* (2005) não necessita de complementação mas as entradas de dados devem ser mais precisas e detalhadas.

Desta maneira não se deve considerar os softwares comerciais de análise de propagação de ruído como sendo os únicos meios eficazes de avaliação, mesmo porque os mesmos também se utilizam de uma modelagem matemática para o cálculo, que pode não ser disponível para quem o opera.

Nas situações onde a intervenção realizada é pequena e tem pouco potencial de impacto, a exigência da utilização de um software comercial para a avaliação da geração e propagação da energia sonora pode simplesmente inviabilizar o empreendimento devido ao custo, sendo que existe uma modelagem eficiente e simples que pode ser aplicada rapidamente e com um custo acessível.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10151-** Acústica, Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, Rio de Janeiro, 2000
- ALBEROLA, J., FLINDELL, I., BULLMORE A. Variability in road traffic noise levels, **Applied Acoustics**. 66 1180–1195, 2005
- ALEXANDRE, A, BARDE J., Road traffic noise, **Applied Science Publisher**, 1975, APUD MAIA, M. A. Contribuição ao mapeamento do ruído urbano da cidade de Porto Alegre (RS). 2003. Dissertação Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- ARRUDA, F. R.; COELHO, J. L. B.; TENENBAUM, R. A.; SLAMA J. G.; Aspectos do Controle do Ruído Urbano na Cidade do Rio de Janeiro, In, XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Rio de Janeiro. 2000, , **Anais...** SOBRAC, Rio de Janeiro. 2000. pp 410-415.
- CHO D. S., KIM, J. H., CHOI, T. M., KIM, B. H., MANVELL, D., Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements, **Applied Acoustics** .V 65, 883–892, 2004
- EGO, A., Ankara City traffic impact assessment study, 2001, APUD MAIA, M. A. Contribuição ao mapeamento do ruído urbano da cidade de Porto Alegre (RS). 2003. Dissertação Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- FERREIRA, D. G.; VALADARES, V. M.; ULHOA, F. M.; HIRASHIMA, H.; SANTOS, V. M. Avaliação do ruído em área urbana como parâmetro para tomada de decisão na elaboração de planos diretores: o caso da cidade de Ibiá, MG, In IX ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Ouro Preto, 2007. **Anais....** Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 2007
- FREITAS, A. P. M. e FREITAS, S. M. Aspectos legais referentes ao conforto acústico nas edificações urbanas. 2006. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, Vol. 1, N.3, p. 3-16, nov. 2006,
- GERGES, S. **Ruídos Fundamentos e Controle**, 2 edição, Florianópolis, NR Editora, 2000
- HMSO - Her Majesty's Stationery Office, Department of Transport. **Calculation of Road Traffic Noise**.; London.1988
- HOLTZ, M.; AKKERMAN, D. Projeto de barreira acústica em rodovia para proteção de condomínio residencial – Relato de experiência. In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte 2008, **Anais...** SOBRAC Belo Horizonte 2008
- ISO - INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION ISO 8613-2. Acoustics attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: general method of calculation. Genève. 1996. APUD CHO D. S., KIM, J. H., CHOI, T. M., KIM, B. H., MANVELL, D., Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements, **Applied Acoustics** .V 65, 883–892, 2004
- MAIA, M. A. Contribuição ao mapeamento do ruído urbano da cidade de Porto Alegre (RS). 2003. Dissertação Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- MAKAREWICZ, R., Air absorption of traffic noise, **Journal of Sound and Vibration**, 161(2), 193-202, 2003
- TANSATCHA, M., PAMANIKABUD P., BROWN A.L., AFFUM J.K., Motorway noise modeling based on perpendicular propagation analysis of traffic noise, **Applied Acoustics** 66 1135–1150. 2005
- MURGEL, Eduardo, Análise de Instalação Piloto de uma Barreira Acústica Rodoviária, Rio de Janeiro, In XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Rio de Janeiro ,2000, **Anais...** Rio de Janeiro SOBRAC, 2000. pp 270 a 275
- MUSAFIR, R. E. Uma Discussão sobre a NBR 10.151 (Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade), In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, 2008, **Anais....** Bel Horizonte, SOBRAC. 2008
- NIEMEYER, M. L. & SLAMA, J. G. O ruído e a cidade – elementos do ruído urbano. In: DEL RIO, Vicente (org.). Arquitetura: pesquisa e projeto. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 1998
- NIEMEYER, M. L., SANTOS, M. J. O., Qualidade Acústica no Espaço Urbano, In VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro . 2001, **Anais...** Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, São Pedro.2001
- NAGEM, M. P., Decaimento e análise do ruído ambiental, diretrizes e metodologia. Dissertação. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, UNICAMP, Campinas, 2004
- NUNES, M. F. O, Estudo do Ruído de Tráfego Veicular Urbano em Interseções Semaforizadas no Centro da Cidade de Santa Maria - RS, Dissertação de Mestrado, 1998, Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998
- NUNES, M. F. O., DORNELES, G. T., SOARES, I. N., Medidas de Atenuação do Ruído de Tráfego Urbano para o Conforto Acústico em Áreas Residenciais, In II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. 1999, **Anais....**, Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 1999
- PEREIRA, M., SLAMA, J. O Ambiente Sonoro Urbano: Representações e Indicadores na Cidade do Rio de Janeiro, In ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro, 2001. **Anais...** ,Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, São Pedro 2001
- PINTO, F. A. N., MORENO, M. D. M. Mapa de ruído de bairros densamente povoados – Exemplo de Copacabana, Rio de Janeiro – Brasil, In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, 2008. **Anais....** Bel Horizonte, SOBRAC, 2008
- ROCHAT, J. L., Highway traffic noise measurements at acoustically hard ground sites compared to predictions from FHWA's traffic noise model, In NOISE-CON 2001, **Proceeding**, Portland, 2001

- ROLLA, S., Ruído na construção civil, In XVII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Petrópolis. 1996, , **Anais....**, Petrópolis, 1996, SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACUSTICA, pp 352 – 359.
- SATTLER, M. A., Avaliação do Impacto de Ruído Gerado por Sistemas Binários de Tráfego, In II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. 1999, **Anais...** Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza.1999
- SATTLER, M. A., ROTT, A. A., CORADINI, R. A., Avaliação do Ruído Ambiental em Porto Alegre, In: VI ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Rio de Janeiro 1999, **Anais....**, Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, Rio de Janeiro 1999. pp 647 - 652.
- SCHERER, M.J.; PIAGETI, G.; VANI, L., O Ruído Urbano e a Desvalorização Imobiliária, In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Bel Horizonte. 2008 **Anais....**, SOBRAC, Bel Horizonte. 2008 SCHIMMITT, I. N.; PUMO, M. L.; MUHLE, L. A.; COELHO, D; MOURA, V. P.; OLIVEIRA, R. S.; Gestão Ambiental no Controle da Poluição Sonora: A Experiência de Porto Alegre, In Anais do XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** SOBRAC, 2000. pp 398 a 415.
- SCHIMMITT, I. N.; PUMO, M. L.; MUHLE, L. A.; COELHO, D; MOURA, V. P.; OLIVEIRA, R. S.; Gestão Ambiental no Controle da Poluição Sonora: A Experiência de Porto Alegre, In XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Rio de Janeiro,2000. **Anais...** SOBRAC 2000, pp 398 a 415.
- VALADARES, V., VECCI, M. A., Alternativas de Controle de Ruído para a Estação Venda Nova em Belo Horizonte, In VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro, 2001. **Anais....**,Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, , São Pedro, 2001
- VALADARES, V. Premissas para Aplicação Idônea da NBR 10151: a questão do ruído ambiente, In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, 2008 **Anais....** SOBRAC, Bel Horizonte. 2008
- VENTURA, A.N; VIVEIROS, E.; COELHO, J. L. B., NEVES, M. M.. Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhaça: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro, In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, 2008 **Anais....** SOBRAC, Belo Horizonte. 2008
- WATTS,G. R., In situ method of determination of transmission loss of noise barriers. **Applied Acoustics**. V 51(4), 421-438 1997