

# Modelamento matemático da emissão sonora em rodovias federais que adentram Áreas urbanas

*Alfredo Calixto*

*Universidade Federal do Paraná – Depto. de Engenharia Mecânica- Laboratório de Acústica Ambiental  
Cx Postal – 19011 – CEP. 81531-990 - Curitiba-Pr.  
e-mail: calixto@demec.ufpr.br*

*Fabiano Belisário Diniz*

*Universidade Federal do Paraná – Depto. de Engenharia Mecânica- Laboratório de Acústica Ambiental  
Cx Postal – 19011 – CEP. 81531-990 - Curitiba-Pr*

*\*\*Paulo Henrique Trombetta Zannin*

*Universidade Federal do Paraná – Depto. de Engenharia Mecânica - Laboratório de Acústica Ambiental  
Cx Postal – 19011 – CEP. 81531-990 - Curitiba-Pr.  
e-mail: zannin@demec.ufpr.br  
\*\*Corresponding Author*

PACS 43.50. Sr

## Resumo

Este trabalho refere-se a um estudo do problema do ruído do tráfego de veículos em rodovias que se transformaram em grandes avenidas na cidade de Curitiba, sob os aspectos dos níveis de ruídos medidos e dos impactos sofridos pela comunidade. Nas principais rodovias que adentram o perímetro urbano de Curitiba, foram medidos simultaneamente os níveis de ruído, fluxo de veículos e composição do tráfego e então foram desenvolvidos modelos matemáticos capazes de estimar esses níveis de pressões sonoras. Foram comparados os valores medidos com os calculados pelos modelos matemáticos, bem como com os calculados segundo a norma alemã RLS-90. Foi então constatada a validade dos modelos matemáticos desenvolvidos, bem como a aplicabilidade do método de cálculo proposto pela norma alemã RLS-90. Finalmente, foram confrontados os valores médios dos níveis do ruído de tráfego nas proximidades dessas rodovias, com limites estabelecidos pela lei municipal 8583/1995, que determina níveis admissíveis do ruído urbano, e ficou constatado que as pessoas que vivem ou trabalham nessas áreas estão expostas a níveis de ruído que excedem os limites permitidos pela lei.

**Palavras-chave:** 1-Ruído; 2-Ruído Urbano; 3-Ruído de Tráfego; 4-Poluição Sonora

## Abstract:

This paper refers to a study about the problem of the traffic noise in roads which have been transformed in big avenues in the city of Curitiba, under the aspects of the measured noise levels and the impacts suffered by the community. Around the main roads inside the urban perimeter of Curitiba, simultaneous measurements were done regarding noise levels, vehicle flow and traffic composition and thus some mathematic models were developed to estimate those sound pressure levels. The measured levels were compared with the calculated ones obtained from the mathematic model and the German Standard RLS-90 as well. It was thus confirmed the validity of the developed mathematic models as well as the applicability of the calculation method adopted by the German Standard RLS-90. Finally, the mean traffic noise levels around those roads and the noise urban limits of the municipal law 8583/1995 were confronted and then it was confirmed that people living or working in these areas are exposed to noise levels over the legislation.

**Keywords:** 1-Noise; 2-Urban Noise; 3-Traffic Noise; 4-Sound Pollution

## 1. Introdução

Curitiba, atualmente com 1.619.348 habitantes, é uma das mais antigas e populosas cidades brasileiras. Seu desenvolvimento econômico foi muito acentuado nos últimos trinta anos, devido ao incentivo governamental para o crescimento do setor industrial. Isto provocou, evidentemente, profundas alterações estruturais na cidade como por exemplo:

- A migração de pessoas das áreas rurais para as urbanas à procura de trabalhos mais lucrativos;
- O aumento do número de veículos circulantes nas ruas;
- O aumento das atividades de construção civil para a construção de novas moradias para os novos habitantes.

O crescimento da população e do número de veículos circulantes ocasionou um acréscimo dos níveis do ruído urbano.

A necessidade de estudos sobre a poluição sonora urbana e suas conseqüências sobre o ambiente, tem motivado em muitos países, o surgimento de várias pesquisas a respeito do problema, como as realizadas por: Abdel-Raziq, 2000; Arana, 1998; Barbosa, 1992; Burgess, 1977; Suksaard, 1999; Zeid, 2000; Zheng, 1996; Zannin et al., 2001 e Zannin et al., 2001.

Um recente trabalho realizado por Calixto et al.(2001), apresenta os resultados obtidos em um levantamento conduzido na cidade de Curitiba, a partir das respostas coletadas em 860 questionários distribuídos à população curitibana,

com o intuito de verificar o impacto do ruído urbano sobre as pessoas.

Este estudo mostrou que o ruído gerado pelo tráfego de veículos é a fonte sonora que mais incomoda a população. Entre os entrevistados que se declararam incomodados com o ruído de sua rua, 73% apontam o trânsito como fonte de incômodo.

Outra decorrência deste grande crescimento populacional que a cidade de Curitiba tem apresentado foi à intensa ocupação de áreas periféricas da cidade, expandindo assim os antigos limites do perímetro urbano do município.

Este fato fez com que as áreas às margens das rodovias que cortam o município, antes quase sem ocupação urbana, se transformassem em bairros com densas concentrações demográficas.

Assim, essas rodovias que antes serviam apenas ao tráfego de chegada, partida ou passagem pela cidade, passaram a ser utilizadas também como vias de acesso ao trabalho e às moradias, sofrendo ao longo dos últimos 30 anos, uma grande alteração funcional, se transformando em importantes avenidas de intenso tráfego urbano, sem que tenham perdido, no entanto, suas funções de rodovias. Portanto, apresentam características de tráfego, como o fluxo de veículos, o percentual das diferentes categorias de veículos, a velocidade média e as distâncias entre semáforos, que as diferenciam tanto de uma típica rodovia como de uma avenida comum.

Os objetivos deste trabalho são múltiplos. O primeiro é conhecer os valores dos níveis de ruído estatísticos e equiva-

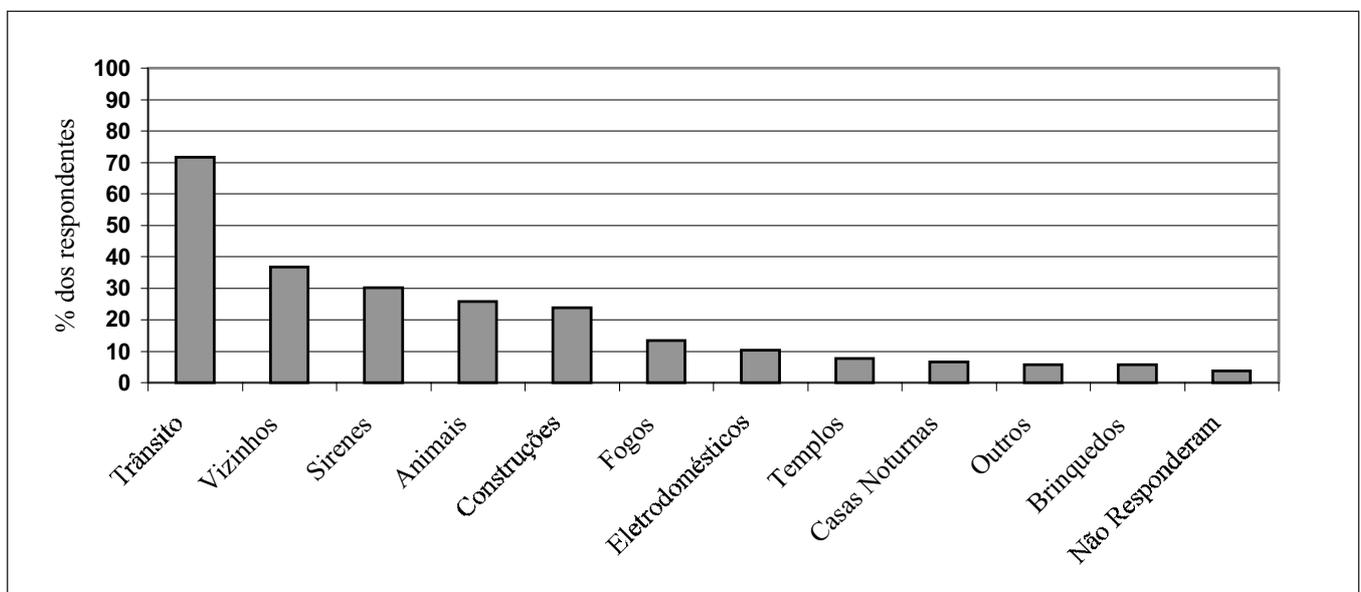


Figura 1. Respostas à pergunta: "Quais são os ruídos que incomodam?"

lentes gerados pelo tráfego de veículos que circulam nestas rodovias-grandes avenidas.

O segundo, é obter modelos matemáticos, capazes de estimar os níveis de pressões sonoras emitidas pelo tráfego de veículos, a partir do conhecimento do fluxo e da composição do tráfego.

Outro objetivo é comparar os valores medidos com os calculados por estes modelos matemáticos e pela metodologia da norma alemã RLS-90 (Richtlinien für Lärmschutz an Strabem, 1990), para constatar a aplicabilidade desta norma às condições brasileiras, e dos modelos matemáticos desenvolvidos.

Finalmente, este trabalho pretende comparar os níveis obtidos nas medições com os limites admitidos pela legislação municipal vigente e então classificar a qualidade acústica destas áreas, contribuindo assim para que a comunidade disponha de parâmetros quantitativos e qualitativos da poluição sonora ambiental nas imediações dessas rodovias-grandes avenidas.

## 2. Metodologia

Brown e Lam (1987) fizeram uma extensa revisão sobre as diferentes estratégias para se estudar o ruído ambiental de uma cidade e concluíram que as duas principais são: medições em uma grade de pontos selecionados de forma equidistantes; e medições segundo uma classificação prévia do ruído urbano, de acordo com a utilização da área, densidade demográfica ou importância das vias urbanas.

Neste trabalho, a estratégia aplicável é a segunda porque se trata de uma pesquisa do ruído de tráfego gerado nas rodovias federais BR-116 e BR-277, que são áreas previamente classificadas como principais rodovias-grandes avenidas dentro do perímetro urbano de Curitiba.

Assim, foram selecionados diversos pontos nessas rodovias, nos quais 100 diferentes amostras foram medidas.

Para cada amostra, foram medidos simultaneamente:

O tempo de duração de cada amostra, em segundos;

A quantidade de automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus que passavam pelo observador durante estes intervalos de tempo;

Os níveis equivalentes e estatísticos do ruído em dB(A), Leq, L10 e L90, emitidos pelo tráfego de veículos

à distância de 25 metros do centro da faixa mais próxima ao medidor. Foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora BK-2238, fabricado pela Brüel & Kjaer. Os valores obtidos nestas medições são os níveis de emissão sonora;

Os níveis equivalentes de emissão sonora, em dB(A), à distância de 40 metros do centro da faixa mais próxima ao medidor. Foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora BK-2260, fabricado pela Brüel & Kjaer.

Todas as medições se realizaram com os medidores ajustados no modo de resposta “fast”.

Para que os resultados obtidos nos diversos pontos de medições pudessem ser agrupados numa única matriz de dados, foram fixadas algumas variáveis do processo. Assim, foram selecionados locais de medições que apresentavam semelhanças em relação às condições da pavimentação, ao comportamento do tráfego quanto à velocidade e aceleração, à inclinação longitudinal, ao trajeto e às características topográficas, de modo a tornar constantes estes parâmetros.

Todos os pontos de medições apresentavam as seguintes características:

Rodovia pavimentada com asfalto liso e em bom estado de conservação;

Velocidades constantes; cuja média é 55 km/h, ponderada por um fator de multiplicação para os veículos pesados;

Inclinação longitudinal menor que 5%, o que pode ser considerado como trecho plano;

Trecho retilíneo;

Imediações planas, caracterizando um campo aberto, sem objetos de reflexões.

Assim, as variáveis de entrada ficaram resumidas ao fluxo e a composição de tráfego, e as variáveis de saída, aos níveis de pressão sonora.

Como o fluxo e a composição do tráfego, não são parâmetros controláveis, a maneira de se conseguir uma variação significativa dos parâmetros de entrada foi, portanto, realizar as medições em diferentes horários e dias da semana.

Também se variou o tempo de duração de cada medição, possibilitando assim que as condições de tráfego das amostras, mais se aproximassem de condições de fluxo regular.

Com estes procedimentos foram alcançadas variações significativas dos parâmetros de tráfego, com o fluxo variando de 973 a 3680 veículos por hora e o percentual de veículos pesados variando de 6,9% a 76,9 %.

Veículos pesados, da mesma forma que na norma alemã RLS-90, são aqueles que tem peso superior a 2.800 kg.

Ao considerar apenas os principais fatores que determinam o ruído de tráfego rodoviário, as expressões obtidas têm pouca complexidade matemática e o levantamento de dados em campo tem grande facilidade operacional. Estes aspectos são importantes para este trabalho que pretende ter garantida a sua utilidade prática à comunidade em geral.

Finalmente, na análise dos resultados para qualificação acústica das regiões estudadas, adotou-se os limites determinados pela lei número 8583 de 10 de janeiro de 1995, da Prefeitura Municipal de Curitiba, uma vez que ela representa o instrumento legal vigente no município.

### 3. Resultados e discussão

Com os resultados das medições das cem amostras realizadas segundo a metodologia adotada, uma matriz de dados foi obtida no experimento, a partir da qual foram realizados os cálculos para a obtenção dos coeficientes de correlações entre as diversas variáveis, a fim de se verificar quais dos fatores envolvidos no processo, eram mais significativos na determinação dos níveis de ruído.

Os valores médios das principais variáveis do processo são apresentados na Tabela 1.

Os coeficientes das correlações entre essas variáveis são dados pela Tabela 2.

Eles valem 0,6758 para  $L_{eq}$ ; 0,6295 para  $L_{10}$  e 0,5324 para  $L_{90}$ . Isto indica definitivamente que é o fator predominante na determinação dos níveis equivalentes e estatísticos de ruído gerado pelo tráfego rodoviário sob as condições estudadas.

No entanto, o percentual de veículos pesados no tráfego rodoviário, também é um fator significativo, uma vez que apresenta coeficientes de correlações com os níveis de ruído que merecem ser considerados. Eles valem 0,5895 para  $L_{eq}$ ; 0,5476 para  $L_{10}$  e 0,4564 para  $L_{90}$ .

O fluxo de veículos é a soma dos veículos leves com os veículos pesados, que se deslocam numa rodovia num intervalo de tempo. No entanto, um veículo pesado gera uma potência sonora maior que a de um veículo leve, principalmente nas velocidades consideradas neste estudo. Portanto, foi necessário considerar um fator de ponderação para os veículos pesados,  $n$ , que resultasse num valor equivalente para fluxo de veículos,  $Q_{eq}$ .

Considerando  $Q$ , como o fluxo real de veículos dado em veículos por hora;  $VP$ , o percentual de veículos pesados e  $n$  o fator de ponderação, então:

$$Q_{eq} = Q (1 + n.VP/100) \quad (1)$$

Logo, o termo  $10\log(Q_{eq})$ , se transforma em  $10\log[Q(1+n.VP/100)]$ .

O valor do fator de ponderação,  $n$ , deverá ser tal que resulte nos maiores coeficientes de correlações entre os níveis de ruído e este termo  $10\log[Q(1+n.VP/100)]$ .

Variando os valores do fator de ponderação de 4 a 10, encontram-se os maiores coeficientes de correlações de  $L_{eq}$  e

| VARIÁVEL | DISCRIMINAÇÃO                      | VALOR MÉDIO   |
|----------|------------------------------------|---------------|
| X1       | Fluxo de veículos, Q               | 2239,5 veíc/h |
| X2       | 10 log Q                           | 33,3          |
| X3       | Percentual de veículos pesados, VP | 31,2 %        |
| X4       | 10 log VP                          | 14,7          |
| X5       | L10                                | 76,3 dB(A)    |
| X6       | L90                                | 65,2 dB(A)    |
| X7       | Leq                                | 73,1 dB(A)    |
| X8       | Imissão a 40 m                     | 68,2 dB(A)    |

Tabela 1. Descrição e valores médios das variáveis.

|    | X1            | X2     | X3            | X4     | X5     | X6     | X7     | X8     |
|----|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X1 | 1,0000        | 0,9555 | 0,2165        | 0,3017 | 0,6295 | 0,5324 | 0,6758 | 0,5512 |
| X2 | 0,9555        | 1,0000 | 0,2324        | 0,3250 | 0,6119 | 0,5113 | 0,6607 | 0,5556 |
| X3 | 0,2165        | 0,2324 | 1,0000        | 0,9281 | 0,5476 | 0,4564 | 0,5895 | 0,4879 |
| X4 | 0,3017        | 0,3250 | 0,9281        | 1,0000 | 0,5988 | 0,4577 | 0,6420 | 0,5234 |
| X5 | <b>0,6295</b> | 0,6119 | <b>0,5476</b> | 0,5988 | 1,0000 | 0,5864 | 0,9361 | 0,8291 |
| X6 | <b>0,5324</b> | 0,5113 | <b>0,4564</b> | 0,4577 | 0,5864 | 1,0000 | 0,6790 | 0,6031 |
| X7 | <b>0,6758</b> | 0,6607 | <b>0,5895</b> | 0,6420 | 0,9361 | 0,6790 | 1,0000 | 0,8826 |
| X8 | 0,5512        | 0,5556 | 0,4879        | 0,5234 | 0,8291 | 0,6031 | 0,8826 | 1,0000 |

Tabela 2. Matriz dos coeficientes de correlações entre todas as variáveis

$L_{10}$ , com o termo acima, quando  $n=9,5$  e valem respectivamente 0,8192 e 0,7692.

Já para  $L_{90}$ , como é menor a influência dos veículos pesados, também é menor o fator de ponderação,  $n=5$ . Neste caso, o coeficiente de correlação entre  $L_{90}$  e o termo  $10\log[Q(1+n.VP/100)]$  é 0,6275.

Um modelo matemático para determinação do nível equivalente de ruído de tráfego que considere então o fluxo de veículos,  $Q$ , e o percentual de veículos pesados,  $VP$ , estarão fundamentados numa forte correlação entre esses parâmetros, cujo coeficiente é 0,8192.

Para  $L_{10}$  o coeficiente é 0,7692 e para  $L_{90}$ , 0,6275. Ambos menores do que para  $L_{eq}$ , mas ainda muito significativos.

### 3.1. Desenvolvimento dos Modelos Matemáticos:

Para obtenção de modelos matemáticos capazes de prever de maneira satisfatória, os níveis de ruídos equivalentes e estatísticos, a partir dos parâmetros que mais influenciam esses níveis, é necessário que esses modelos:

- Sejam simples tanto quanto possível, para que possam ser utilizados por todas as pessoas envolvidas com o planejamento urbano;
- Exijam para o cálculo dos níveis de ruído, apenas dados facilmente observáveis;
- Permitam a obtenção de resultados com precisão compatível com a percepção subjetiva do ruído.

Os veículos não são exatamente iguais. Isto significa que o ruído gerado por cada veículo difere em função de diversos fatores, como por exemplo: a maneira de dirigir; a carga que o veículo está transportando; tipo, estado e calibragem dos pneus; tipo e estado do sistema de escapamento; o grau de desgaste mecânico geral do veículo.

Em função destas variáveis, supõe-se que para diferentes amostras, mesmo que o fluxo e a composição do tráfego sejam iguais, existirão variações dos níveis medidos de emissão de ruído.

Portanto, qualquer modelagem matemática para cálculo do ruído de tráfego será sempre uma estimativa aproximada, pois muitos são os fatores que influenciam os resultados.

Graficamente, os modelos matemáticos para a determinação dos níveis de ruído de tráfego rodoviário podem ser representados como:

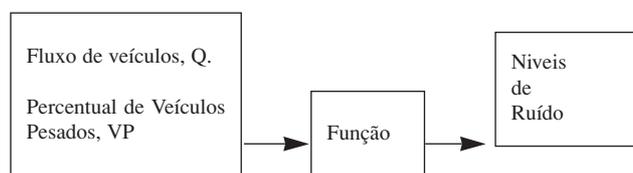


Figura 2. Representação Gráfica do Modelo Matemático.

#### 3.1.1. Modelo Matemático para o Nível Equivalente

Uma vez medidos o fluxo de veículos,  $Q$ ; o percentual de veículos pesados,  $VP$ ; os níveis equivalentes de ruído,  $L_{eq}$ ; e determinado o fator de ponderação mais adequado  $n=9,5$ ; os

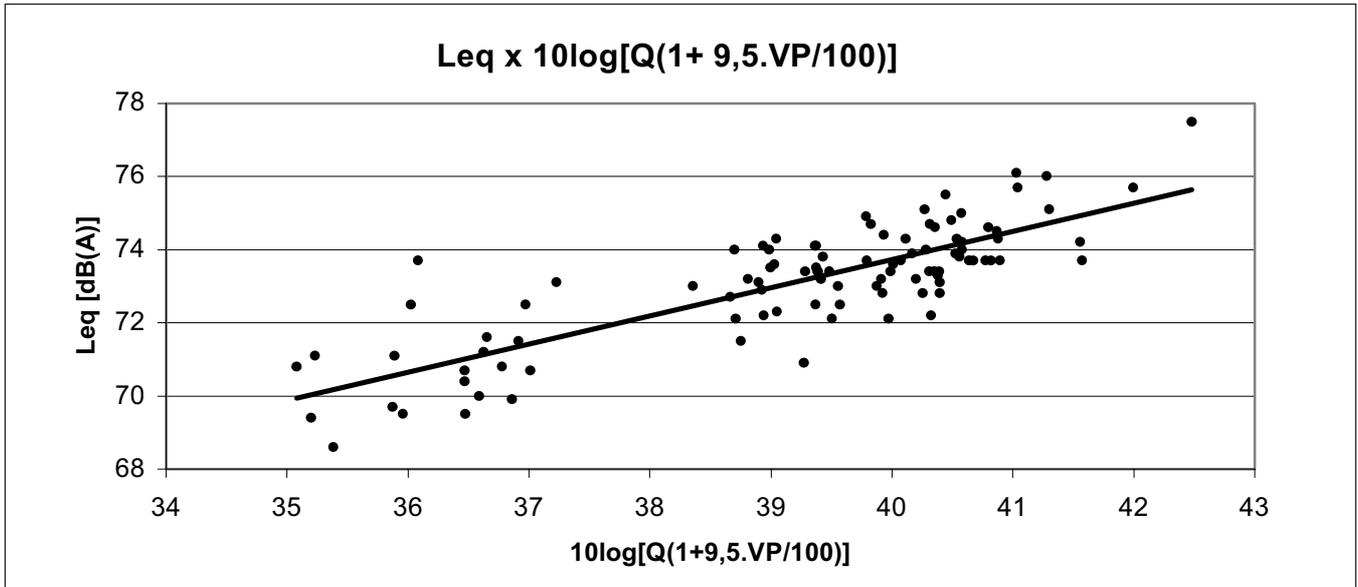


Figura 3. Curva ajustada para  $Leq \times 10\log[Q.(1+9,5VP/100)]$

valores de  $L_{eq}$  e de  $10\log[Q.(1+9,5.VP/100)]$ , foram plotados no gráfico, apresentado na figura 3.

Então, pelo método dos mínimos quadrados, ajustou-se uma curva aos pontos medidos. Matematicamente, esta curva é do tipo:

$$y = a \cdot x + k \quad (2)$$

Aplicando-se as variáveis do problema à equação da reta, vem:

$$L_{eq} = a \cdot 10 \log [Q(1+9,5VP/100)] + k \quad (3)$$

Os valores das constantes  $a$  e  $k$ , encontrados com a utilização das técnicas estatísticas de regressão linear, valem:

- $a = 0,769$ ;
- $k = 42,964$ .

Assim, a expressão que representa matematicamente a curva ajustada, e que pode determinar os valores dos níveis equivalentes do ruído de tráfego rodoviário gerado nas rodovias estudadas, é:

$$L_{eq} = 7,7 \log[Q(1+0,095VP)] + 43 \quad (4)$$

onde:

- $L_{eq}$  é o nível equivalente do ruído emitido pelo tráfego rodoviário, a 25 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.

### 3.1.2. Modelos Matemáticos para $L_{10}$ e $L_{90}$ :

Com os mesmos procedimentos adotados para o tratamento dos níveis equivalentes, foram obtidas as expressões matemáticas para determinar os níveis estatísticos  $L_{10}$  e  $L_{90}$ . São elas:

$$L_{10} = 6,2 \log[Q(1+ 0,095VP)] \quad (5)$$

$$L_{90} = 10,2 \log [Q(1+ 0,050VP)] + 27,1 \quad (6)$$

No entanto, como se pretende comparar os níveis medidos com a legislação municipal vigente e esta se refere somente aos níveis equivalentes, os níveis  $L_{10}$  e  $L_{90}$ , não serão mais discutidos neste trabalho.

### 3.2. Avaliação do Modelo para $Leq$ :

A Tabela (3) apresenta as médias, desvios padrões, máximas variações positivas e máximas variações negativas das diferenças entre os valores calculados e os valores medidos.

A Fig (4), apresenta comparações dos valores medidos com os calculados pelo modelo matemático (Eq. (4)) e pela metodologia da norma alemã RLS-90, à velocidade de 55 km/h.

Os valores calculados não se distanciam de maneira significativa dos valores medidos.

| Parâmetro Estatístico    | Modelo-Medições | RLS 90 – Medições | Modelo-RLS 90 |
|--------------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| Média                    | -0,005          | 0,3               | -0,3          |
| Desvio Padrão            | 1,821           | 1,081             | 0,559         |
| Máxima Variação Positiva | 2,261           | 1,5               | 1,8           |
| Máxima Variação Negativa | 2,994           | 3,9               | 0,3           |

Tabela 3: Estatística das diferenças entre valores calculados e medidos para Leq [dB(A)]

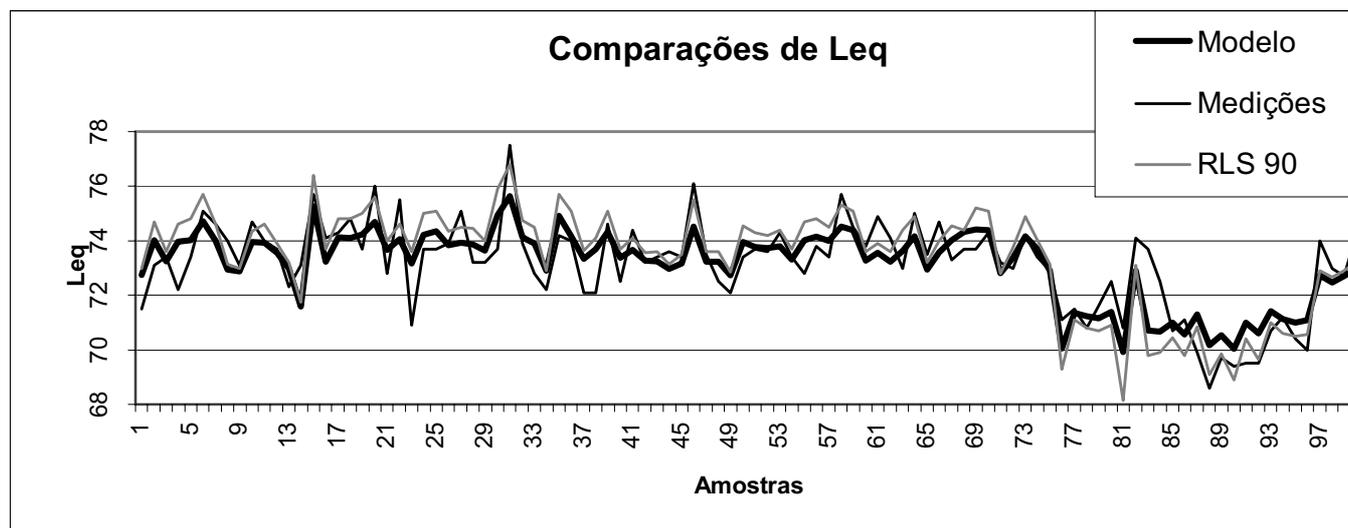


Figura 4. Valores calculados e medidos da emissão do ruído a 25 metros.

Esta constatação permite afirmar que a Eq. (4), é capaz de prever satisfatoriamente os níveis equivalentes do ruído gerado pelo tráfego de veículos em rodovias.

Além disso, permite constatar que a metodologia da norma alemã RLS-90, pode ser aplicada às condições brasileiras, uma vez que geram resultados muito próximos dos valores calculados pela Eq. (4), bem como dos valores obtidos nas medições.

### 3.3. Avaliação dos Níveis de Ruído

A lei municipal nº. 8583 de 10/01/1995 fixa limites para o ruído urbano na cidade de Curitiba, segundo uma classificação de áreas denominada zoneamento urbano.

A Tabela (4) apresenta os limites permitidos dos níveis equivalentes de ruído em algumas zonas da cidade, para o período das 07:00 às 19:00h, no qual se realizaram as medições.

Para os valores médios do fluxo de veículos e do percentual de veículos pesados, o nível equivalente médio de ruído de tráfego, a distâncias de 25 m é 73,7 dB(A).

## 4. Conclusões

A norma alemã RLS-90 é bem aplicável ao cálculo do ruído emitido pelo tráfego de veículos nas rodovias situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba.

Em consequência disto, os programas para computadores desenvolvidos segundo os critérios de cálculo da norma alemã RLS-90, podem ser utilizados para o cálculo de níveis de emissão e imissão do ruído de tráfegos em rodovias brasileiras.

Modelos matemáticos para predição de níveis equivalentes e estatísticos de ruído de tráfego gerado em rodovias, podem ser bem desenvolvidos com as técnicas estatísticas de regressão linear. Os níveis de ruído calculados por estes modelos são aproximadamente tão precisos quanto os níveis calculados pelos critérios da norma alemã RLS-90, e correspondem de maneira satisfatória aos valores medidos.

O valor médio do nível equivalente de emissão do ruído de tráfego medidos nas rodovias situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba é  $Leq = 73,7 \text{ dB (A)}$ ;

| ZONA | DESCRIÇÃO                                   | $L_{eq}$ PERMITIDO [dB(A)] |
|------|---|----------------------------|
| ZR-1 | Zona Residencial (estritamente)             | 55                         |
| ZR-2 | Zona Residencial de baixa densidade         | 55                         |
| ZR-3 | Zona Residencial de média densidade         | 55                         |
| ZR-4 | Zona Residencial de média densidade (mista) | 60                         |
| SE   | Setor Estrutural                            | 65                         |
| ZE   | Zona Especial de Serviço                    | 70                         |
| ZS   | Zona de Serviço                             | 70                         |
| AV   | Área Verde                                  | 55                         |
| SR2  | Setor Residencial em Santa Felicidade       | 55                         |

Tabela 4. Níveis equivalentes de ruído permitidos pela lei municipal nº. 8583

As rodovias que adentram o perímetro urbano de Curitiba cortam na sua maior parte, áreas da cidade classificadas como ZRs e ZS.

Segundo os limites definidos pela lei, nas áreas classificadas como zonas residenciais (ZRs), o limite legal no período diurno é 55 dB(A). Então o nível equivalente médio de ruído de tráfego nestas áreas, ultrapassa em média os níveis permitidos pela lei em 18,2 dB(A), à distância de 25 metros.

Já para as chamadas zonas de serviços (ZS), o limite para período diurno é de 70 dB(A). Este nível limite é ultrapassado em média, em 3,1 dB(A), à distância de 25 metros.

Diante dos fatos demonstrados, conclui-se que existe o problema de poluição sonora ambiental causada pelo ruído do tráfego de veículos nas rodovias situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba.

A população que reside ou trabalha nestas áreas, sofre os efeitos deste ruído, o que representa riscos à saúde e prejuízo à qualidade de vida.

Do ponto de vista técnico, é necessário uma combinação de diversas medidas que busquem reduzir os níveis de ruído tanto na sua geração, como na sua transmissão.

Controlar a geração do ruído significa adotar medidas que levem os veículos a emitirem uma potência sonora menor quando se deslocam por uma rodovia. Para tanto, podem ser estudadas diversas medidas como:

- A limitação do fluxo de veículos e a redução do percentual de veículos pesados. Para que isto ocorra, será necessário:

– A conclusão das obras de rodovias de contorno da cidade, em andamento há 10 anos;

– Melhorias quantitativas e qualitativas do transporte coletivo existente, tais como: qualidade operacional, segurança, rapidez, conforto e baixo custo. Estes fatores constituem-se reais motivos para que a população passe a utilizá-lo com maior intensidade;

– Implantação de transporte coletivo subterrâneo (metrô);

– Incentivo ao uso de bicicletas ou caminhadas para o deslocamento em pequenas distâncias;

- A redução do limite permitido de velocidade, principalmente nas proximidades de áreas residenciais, de escolas e de hospitais.

- Propor uma nova legislação, no sentido de reduzir os limites de emissão de ruído veicular determinados pela NBR 8433/84, vinculado a um cronograma de implantação, para que as montadoras de veículos desenvolvam seus produtos para emitirem menor potência sonora.

Já, no entanto, controlar a transmissão do ruído, significa adotar medidas que provoquem maiores perdas da pressão sonora entre a fonte e o receptor, fazendo com que um menor nível de ruído, atinja os ouvidos da população.

Para tanto, podem ser implantados obstáculos intermediários chamados de barreiras acústicas. Estas barreiras acústicas, apesar de serem normalmente construídas de concreto, podem ter seu aspecto visual devidamente ambientado, com a utilização de uma vegetação apropriada que recubra toda a

barreira, tornando-a um elemento perfeitamente integrado à paisagem natural, influenciando positivamente até no aspecto psicológico da população.

Diversas combinações de ações devem ser estudadas, uma vez que existe a necessidade de redução em torno de 18 dB(A), nas zonas residenciais e 3 dB(A) nas zonas de serviços para que sejam atendidos os limites definidos pela legislação municipal.

Tendo em vista que a legislação municipal fixa valores que não devem ser ultrapassados na divisa de qualquer propriedade particular urbana, e que o tráfego de veículos em vias públicas gera níveis de ruído superiores aos permitidos pela lei, então se deduz que este problema diz respeito ao poder público, que deve mobilizar esforços no sentido do controle deste problema ambiental que afeta a população que vive ou trabalha nas imediações das rodovias que adentram o perímetro urbano de Curitiba.

## 5. Referências:

- Abdel-Raziq, I.R., Zeid, Q., Seh, M., 2000, "Noise Measurements in the Community of Nablus in Palestine", *Acustica*, Vol. 86, pp. 578-580.
- Arana, M., Garcia, A., 1998, "A Social Survey on the Effects on Environmental Noise on the Residents of Pamplona, Spain", *Applied Acoustics*, Vol. 53, n. 4, pp. 245-253.
- Barbosa, W.A., 1992, "Aspectos do Ruído Comunitário em Curitiba", dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.
- Brown, A.L., Lam, K.C., 1977, "Urban Noise Surveys", *Applied Acoustic*, Vol. 20, pp.23-39.
- Burgess, M.A., 1977, "Noise Prediction for Urban Traffic Conditions – Related to Measurements in the Sydney Metropolitan Area", *Applied Acoustic*, Australia, Vol. 10, pp. 001-007.
- Calixto, A et. al., 2001, "Uma Pesquisa Social do Incômodo Provocado pelo Ruído Urbano em Curitiba", *Anais da 9ª. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisadores Níckeis*, pp. 346
- Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen – RLS 90, Ausgabe 1990. Der Bundesminister für Verkehr
- Suksaard, P. et al., 1999, "Road Traffic Noise Prediction Model in Thailand", *Applied Acoustic*, Thailand, v. 58, pp. 123-130.
- Zannin, P.H.T. et al., 2001, "Environmental Noise Pollution in Residential Areas of the City of Curitiba", *Acustica*, Vol. 87(5), pp. 625-628.
- Zannin, P.H.T. et al., 2001, *Environmental Noise Pollution in the city of Curitiba, Brazil*, *Applied Acoustics* (in press).
- Zeid, Q., She, M., Abdel-Razia, I.R., 2000, "Measurement of the Noise Pollution in the Community of Araba", *Acustica*, Vol. 86, pp. 376-378.
- Zheng, X., 1996, "Study on Personal Noise Exposure in China", *Applied Acoustic*, Beijing, Vol.48, n. 1, pp. 59-70.