

# Engenharia Civil

## Avaliação do ruído através do SPBI (*Statistical Pass-By Index*) em diferentes pavimentos

(Noise evaluation using the SPBI (Statistical Pass-By Index) for different pavements)

### Resumo

O transporte rodoviário causa grande impacto no meio ambiente, tanto pelo grande consumo de energia quanto pela infra-estrutura física necessária a sua operação. A emissão de gases e os ruídos causados pelo tráfego causam danos irreversíveis ao meio ambiente e têm sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas. Sabe-se que o atrito pneu/pavimento e as propriedades acústicas dos revestimentos influenciam de sobremaneira a geração e a propagação do ruído. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar o ruído causado pelo tráfego de veículos em quatro diferentes pavimentos implantados em diferentes rodovias através do SPBI (*Statistical Pass-By Index*). A metodologia adotada seguiu as prescrições da norma ISO 11819-1, a qual determina que um decibelímetro seja instalado na lateral da via para medir o ruído máximo causado pela passagem de um veículo. O revestimento em CBUQ foi o pavimento cujas maiores medidas foram observadas (86,84dBA) seguido do CCP (83,28dBA), do TSD (83,26dBA) do MICRO (81,14dBA) e da CPA (81,03dBA). Os resultados indicam que a escolha adequada do revestimento pode atenuar de maneira expressiva o ruído causado pelo tráfego rodoviário.

**Palavras-chave:** Ruído, pavimento, meio ambiente.

### Abstract

*Highway transportation causes immense environmental impacts, as much by the enormous use of energy as for the physical infrastructure necessary for its operation. The gas emission and traffic noise cause irreversible damages to the environment and this has been the objective of a lot of studies and researches. It is known that the contact between tire and pavement surface and the acoustic properties of the coverings influence the noise's generation and propagation. This research aims to evaluate the noise caused by the traffic of vehicles in four different pavements through SPBI (Statistical Pass-By Index). The methodology followed the prescriptions of the norm ISO 11819-1; the decibelímetro is installed in the road side and it records the maximum noise caused by each vehicle. HMA presents higher noise measurement (86,84dBA) followed by PCC (83,28dBA), ST (83,26dBA) MICRO (81,14dBA) and PC (81,03dBA). The results indicate that correct pavement selection can reduce, in an expressive way, the noise caused by road traffic.*

**Keywords:** Noise, pavement, environment.

### Luciano Pivoto Specht

UNIJUÍ - Univ. Regional do Noroeste  
do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil  
Mestrado em Modelagem Matemática  
E-mail: luspecht@gmail.com

### Sérgio C. Callai

UNIJUÍ - Univ. Regional do Noroeste  
do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil  
E-mail: sergiocallai@yahoo.com.br

### Oleg A. Khatchaturian

UNIJUÍ - Univ. Regional do Noroeste  
do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil  
Mestrado em Modelagem Matemática  
E-mail: olegkha@unijui.edu.br

### Raquel Kohler

UNIJUÍ - Univ. Regional do Noroeste  
do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil  
E-mail: kohler@unijui.edu.br

## 1. Introdução

O modal rodoviário de transporte tem papel indiscutível e é insubstituível, tanto na economia, quanto no cotidiano das pessoas. No Brasil, onde 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias, tais valores são ainda mais marcantes (Mello, 2001). Todavia é inegável o nefasto efeito ambiental causado, tanto pela implantação das vias, quanto pela operação de veículos; destacam-se, na operação, a poluição do ar pela emissão de dióxido de carbono e o ruído causados pelos veículos.

Shafer (1977) apresenta uma compilação de diversas pesquisas (Londres e Vancouver em 1969, Chicago em 1971, Joanesburgo, Paris e Munique em 1972) sobre os ruídos ambientais que mais afetam o público em geral e o tráfego de veículos foi o mais lembrado. Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um expressivo aumento nas taxas de motorização, passando de 122 habitantes/veículo, na década de 1950, para 6 habitantes/veículo em 1995, o que acentuou ainda mais o problema (ANTP, 2003). O USDOT/FHWA (1995) complementa que o ruído, tanto em zonas urbanas, quanto rurais, está intimamente associando com os transportes.

Na Suécia, um estudo de perdas causadas pelo ruído apresenta cifras da ordem de 330 milhões de dólares por ano e estão ligadas principalmente a desvalorização imobiliária (Sandemberg, 2001). A cada vez mais tem se buscado alternativas para reduzir o ruído causado pelo tráfego ou minimizar seus efeitos. É bastante comum, na Europa e nos Estados Unidos, a utilização de barreiras anti-ruído que são muros ou cortinas que atenuam a passagem do som. Outra forma de se minimizar a geração e reduzir a propagação do ruído é através da utilização de revestimentos de rodovias com propriedades fonoabsorventes.

Na Europa, diversas iniciativas de cooperação têm sido estabelecidas para pesquisar sobre o tema e buscar alternativas para sua atenuação. Destacam-se os projetos SILVIA (*SIL*enda *Via* - *Sustainable Road Surfaces for Traffic*

*Noise*) e FEHRL (*Forum of European National Highway Research Laboratories*) e SILENCE. Não obstante nos EUA a FHWA tem empreendido esforços no mesmo sentido (Silvia, 2008; FEHRL, 2008; SILENCE, 2008; FHWA, 2008).

Ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa ou simplesmente como todo som indesejável (ABNT, 1983). A pressão sonora é utilizada para definir os níveis de ruído ou sua intensidade e sua unidade é o decibel. O decibel (dB) é a unidade logarítmica que expressa a razão entre a pressão sonora que está sendo medida e uma referência. O som é composto por uma variedade de frequências, todavia o ouvido humano é capaz de sentir apenas parte dessa frequência (áudio-frequência 20-20000Hz). Os medidores de ruído são capazes de selecionar tais frequências e a escala A dos decibelímetros é a que melhor representa a percepção humana.

USDOT/FHWA (1995) ressalta que a interpretação das medidas de ruído deve ser cuidadosa, visto que, como mencionado, o decibel é uma escala logarítmica. A Tabela 1 apresenta algumas relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica.

No caso do transporte rodoviário, o ruído é causado pelo sistema de motor, escapamento e sistema de transmissão, contato pneu/pavimento e efeito aerodinâmico.

Na Figura 1, está representada a contribuição de cada parcela no ruído total, notando-se, claramente, a importância do ruído pneu/pavimento no ruído total (Hanson et al., 2005). Se considerarmos a velocidade de 100km/h, a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e sistema de transmissão e 10% do ruído aerodinâmico.

Os mecanismos de geração e transmissão de ruído pneu/pavimento são bastante complexos. A geração está ligada às vibrações mecânicas do pneumático (impacto, choque e adesão) e a mecanismos aerodinâmicos. A magnitude de cada fator depende da via (textura superficial, propriedades dos agregados utilizados e temperatura), do pneu (tipo, pressão de inflação) e do veículo (tipo, velocidade e condições de condução). A transmissão pode ser direta (da fonte ao receptor) ou refletida em alguma barreira ou no próprio pavimento.

Algumas pesquisas realizadas no Brasil mediram as propriedades acústicas dos materiais de revestimento utilizando técnicas do tubo de impedância (Nascimento et al., 2005; Láo, 2004; Astrana, 2006). Segundo Sandemberg (2001) e Hanson et al. (2005), a tendência para se construir pavimentos considerando a segurança, desempenho, custo e baixos níveis de ruído deve considerar os seguintes possibilidades: a superfícies com baixa textura e agregados

**Tabela 1** - Relações de variação de nível sonoro e perda de energia acústica. Fonte: USDOT/FTHW (1995).

| Alteração Nível Sonoro | Percepção                   | Perda de Energia Acústica |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 0dBA                   | Referência                  | 0                         |
| -3dBA                  | Mudanças pouco perceptíveis | 50%                       |
| -5dBA                  | Mudanças perceptíveis       | 67%                       |
| -10dBA                 | Metade do volume            | 90%                       |
| -20dBA                 | $\frac{1}{4}$ volume        | 99%                       |
| -30dBA                 | $\frac{1}{8}$ volume        | 99,90%                    |

pequenos; camadas porosas com altos volumes de vazios; superfícies com baixa rigidez no contato pneu/pavimento.

Os limites aceitáveis/toleráveis de ruído causados pelo tráfego de veículos variam de país para país. Nos Estados Unidos, a EPA (*Environmental Protection Agency*) fixa valores entre 80dBA e 87dBA, dependendo do tipo veículo e da velocidade (USDOT/FTHW, 1995). No Brasil, a NBR10151 (ABNT, 2000) fixa como valores máximo de ruído flutuante para áreas externas e no período diurno valores entre 40dBA, para sítios e fazendas, até 70dBA, para áreas predominantemente industriais.

A exposição dos seres humanos a altos níveis de ruído acaba por ocasionar respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas, hipertensão sanguínea, mudanças gastrintestinais, reações musculares e vaso constricção das veias. Além das alterações fisiológicas existem as bioquímicas que são: mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sanguínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, tais com aumento da pressão sanguínea, causando hipertensão arterial (Fernandes, 2002).

Essa pesquisa tem como objetivo avaliar, através do SPBI (*Statistical Pass-By Index*), o ruído causado pelo tráfego de veículos em cinco diferentes pavimentos: CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado à Quente, CCP - Concreto de Cimento Portland, TSD - Tratamento Superficial Duplo, CPA - Camada Porosa de Atrito e Microrevestimento.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Planejamento

O planejamento do experimento contempla a medição de ruído, da velocidade e a classificação do tráfego em cinco rodovias com diferentes revestimentos utilizados em rodovias no Estado no Rio Grande do Sul e que são co-

muns em outras partes do Brasil e do Mundo. As rodovias/revestimentos selecionadas foram as seguintes:

- RS 342 - trecho entre Ijuí - Cruz Alta. Revestimento: CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado à Quente; faixa densa IVB do Instituto do Asfalto (faixa B do DAER), com tamanho máximo de granulares de 19mm, teor de ligante de 5,6%, volume de vazios de 3,7, relação betume/vazios de 78% e vazios no agregado mineral de 16,6% (Oliveira et al., 2000), executado no ano de 2000. A curva com distribuição granulométrica está apresentada na Figura 2, juntamente com as granulometrias dos demais revestimentos asfálticos.
- RS 522 - trecho entre Ijuí - Augusto Pestana. Revestimento: TSD - Tratamento Superficial Duplo com tamanho máximo de granulares de 19mm para a primeira camada e 9,5mm para a segunda (DAER, 1998); executado no ano de 2004.
- BR 285 - trecho Entre-Ijuís - São Borja. Revestimento: CPA - Camada Porosa de Atrito; construído sobre camada de concreto asfáltico no ano de 2005. Foi executada com 4,3% de ligante Stylink (PG 76 -22), tamanho máximo de granulares de 19mm (Faixa V do DNIT), volume de vazios de 18,77%, relação betume/vazios de 31%.
- BR 290 - Trecho Porto Alegre - Osório. Revestimento: CCP - Concreto de Cimento Portland (Whitetopping); construído sobre camada de concreto asfáltico fresado no ano de 2000 com 24cm de espessura, 4,75m de comprimento e 3,75m de largura; utilizou concreto com consumo de cimento de 395kg/m<sup>3</sup> (fator água cimento de 0,47), 649kg de areia, 827kg de brita 1 e 671kg de brita 2 com resistência à tração de 5MPa e à compressão de 35MPa aos 28 dias. O equipamento utilizado foi a pavimentadora CMI SF 3004 com texturização mecânica e cura química.
- BR 285 - trecho Ijuí - Entre-Ijuís. Revestimento: MICRO - Microrevestimento asfáltico; construído sobre camada de concreto asfáltico no ano de 2007; utiliza granulares com tamanho máximo de 9,5mm e emulsão modificada com polímero SBS.

### 2.2 Metodologia

A metodologia adotada seguiu as prescrições da norma ISO 11819-1 utilizando o processo *pass-by* de medida

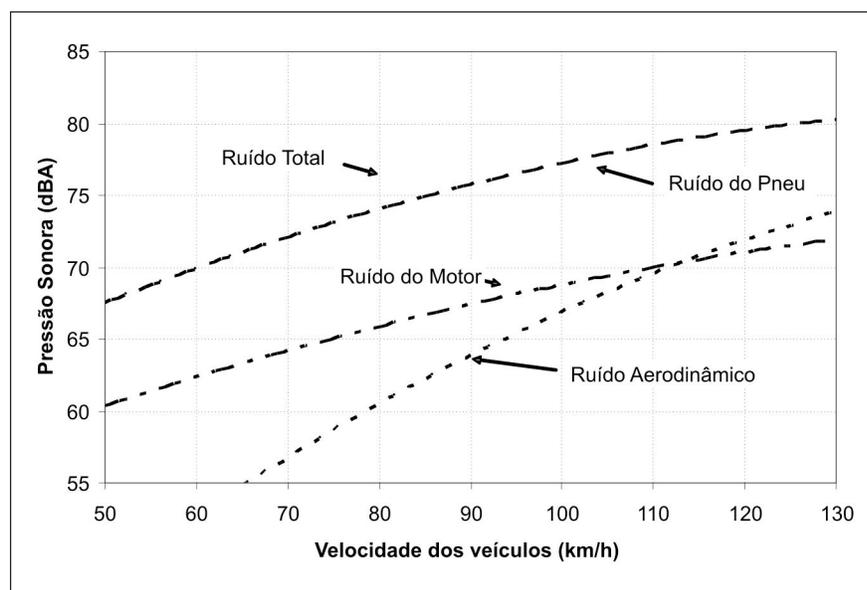


Figura 1 - Influência dos diversos fatores no ruído. Fonte: Hanson et al., 2005.

onde um decibelímetro é instalado na lateral da via e mede o ruído máximo causado pela passagem de um veículo. A Figura 3 apresenta a posição de instalação do equipamento. Todas as medições foram feitas entre 8h e 30min e as 17h e 30min durante os meses de setembro de 2006 a março de 2007 com temperaturas entre 23 e 38°C em dias ensolarados.

O equipamento utilizado é um decibelímetro da marca Minipa MSL 1351 com display digital, microfone de eletreto de 1/2", faixa dinâmica de 50dB, precisão de  $\pm 1,5\text{dB}$  (94dB/1kHz); a escala A foi adotada para as medições, assim como a resposta rápida. As leituras eram feitas manualmente. A Figura 4 apresenta fotos do equipamento utilizado.

O local escolhido para a realização das medidas deve ser livre de obstáculos ou elementos que interfiram nas medidas e a pista deve estar seca e representar adequadamente o revestimento que se pretende caracterizar. A medida de velocidade era feita com a determinação do tempo que o veículo levava para percorrer uma distância preestabelecida (entre duas estacas = 100m) e então calculada a velocidade média.

O tráfego foi classificado segundo o Manual de estudos de tráfego do DNIT (DNIT, 2006) e segundo a ISO 11819-1, que classifica os veículos em apenas duas categorias: 1 - carro e 2 - caminhões e ônibus, subdividindo-se em 2a para os veículos com dois eixos e 2b para veículos com mais de 2 eixos.

Um número mínimo de veículos de cada categoria deve ser atendido; para veículos de passeio, 100, para veículos pesados com dois eixos, 30 e, para veículos pesados com mais de dois eixos, 30, sendo que a soma destes dois últimos deve ser, no mínimo, 80.

Só devem ser levados em consideração veículos que estão claramente livres da interferência acústica de outros veículos. Deve ser feita uma regressão linear dos valores obtidos para que eles possam enquadrar-se aos da Tabela 2.

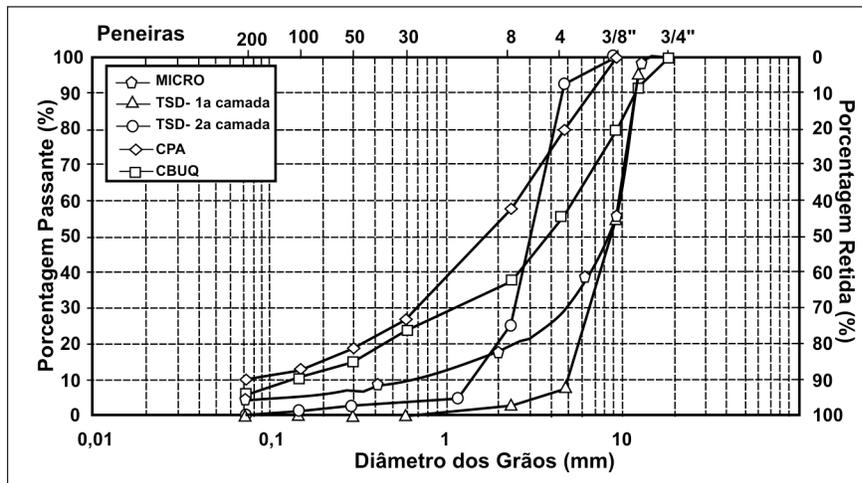


Figura 2 - Curvas granulométricas dos revestimentos asfálticos.

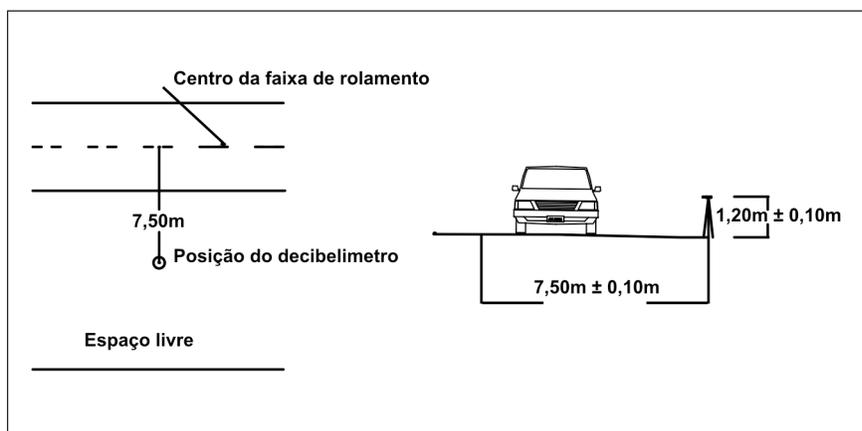


Figura 3 - Posicionamento do equipamento de medida. (a) Vista superior. (b) Vista frontal.



Figura 4 - Decibelímetro utilizado.

Tabela 2 - Velocidade de referência e peso dos fatores (Wx).

| Categoria do veículo          |        | Velocidade da rodovia    |       |                          |       |                          |       |
|-------------------------------|--------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                               |        | Baixa                    |       | Média                    |       | Alta                     |       |
| Nome                          | Número | Velocidade de referência | Wx    | Velocidade de referência | Wx    | Velocidade de referência | Wx    |
| Carros                        | 1      | 50km/h                   | 0,900 | 80km/h                   | 0,800 | 110km/h                  | 0,700 |
| Pesados de dois eixos         | 2a     | 50km/h                   | 0,08  | 70km/h                   | 0,100 | 95km/h                   | 0,08  |
| Pesados de mais de dois eixos | 2b     | 50km/h                   | 0,03  | 70km/h                   | 0,100 | 95km/h                   | 0,23  |

Então aplicá-los na Equação 1 que fornece o SPBI:

$$SPBI = 10 \cdot \lg [ W_1 \times 10^{L1/10} + W_{2a} (v_1/v_{2a}) \times 10^{L2a/10} + W_{2b} (v_1/v_{2b}) \times 10^{L2b/10} ] \quad (1)$$

Onde :

SPBI = Índice estatístico de passagem (*Statistical Pass-By Index*), para uma média entre veículos leves e pesados.

L1, L2a, L2b = Valores de pressão sonora para as categorias respectivas (dB).

$W_1, W_{2a}, W_{2b}$  = Fatores que presumem as proporções dos veículos respectivos, de acordo com a Tabela 2.

$V_1, V_{2a}, V_{2b}$  = Velocidades de referência dos veículos, de acordo com a Tabela 2.

### 3. Resultados

Na Tabela 3, são apresentados os resultados médio obtidos nas medições de ruído nos cinco trechos propostos. Foram também calculados os valores médios de textura, velocidade, número de eixos e peso. O peso foi determinado relacionando o tipo de veículo com o peso informado no manual do DNIT (2006). Nesse caso, não se pode afirmar com precisão este valor, pois os veículos poderiam estar com uma menor carga embarcada ou, eventualmente, com excesso de peso.

A Figura 5 apresenta a relação entre velocidade e pressão sonora; nota-se que a maioria dos pontos encontra-se entre 65 e 110km/h, o que caracteriza de maneira adequada a velocidade das rodovias rurais do Brasil. É verificada uma relação de proporcionalidade direta entre a velocidade e pressão sonora, com variação chegando a 5dBA nos extremos, o que é bastante expressivo. Tal aumento deve-se ao efeito aerodinâmico e à dinâmica do contato pneu/pavimento. O ajuste linear apresentado com  $R^2$  de 0,0128 não tem objetivo de servir como modelo de previsão, mas de indicar a complexidade de fatores que não são controlados e afetam o ruído; isso também é denotado pela dispersão dos dados.

Além da velocidade, as variáveis número de eixos, peso do veículo e macrotextura do pavimento foram relacionadas com a variável Pressão Sonora e,

Tabela 3 - Resumo dos resultados obtidos nas medições.

| Parâmetros                     | Revestimento |       |       |       |       |
|--------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
|                                | CBUQ         | TSD   | CPA   | CCP   | MICRO |
| Nº de Medidas                  | 374          | 538   | 215   | 360   | 370   |
| Macrotextura <sup>1</sup> (mm) | 0,42         | 2,30  | 2,04  | 0,58  | 1,53  |
| Velocidade (km/h)              | 91,89        | 80,71 | 70,13 | 82,35 | 80,17 |
| Nº eixos                       | 2,67         | 2,30  | 2,51  | 3,17  | 2,76  |
| Peso (t)                       | 13,23        | 7,60  | 10,97 | 20,36 | 14,32 |
| Pressão Sonora (dBA)           | 82,52        | 82,19 | 79,29 | 84,31 | 78,51 |
| Desvio-Padrão (dBA)            | 5,33         | 3,83  | 4,70  | 4,10  | 4,58  |
| Coef. Variação (%)             | 6,46         | 4,66  | 5,93  | 4,86  | 5,84  |

Nota: <sup>1</sup> medida em acordo com a técnica da altura de areia - ASTM D9656/96.

de maneira semelhante, os valores dos coeficientes de correlação ficaram muito baixos; todavia foi possível verificar que, aumentando o número de eixos, ou o peso do veículo, aumenta-se o ruído e que, reduzindo-se os valores de macro-textura, se reduz o ruído.

Também de posse das 1857 medidas foi realizada uma tentativa de correlacionar, estatisticamente, tais variáveis, suas interações e efeitos quadráticos, com a variável de resposta; para tanto se utilizou a Análise de Variância (ANOVA) e, devido à grande dispersão de resultados, a análise não foi satisfatória (dentro dos padrões aceitáveis de erro; nível de significância de 0,05).

Observa-se, ainda, na Tabela 2, que, devido às características particulares do tráfego, em cada uma das rodovias (principalmente de velocidade e características dos veículos), a comparação direta dos valores medidos torna-se frágil; através da utilização do SPBI (*Statistical Pass-By Index*), é possível considerar um peso para cada tipo de veículo e três diferentes padrões de velocidade. Ressalta-se que esses pesos foram determinados em rodovias européias e, ainda, não se tem notícia da sua utilização no Brasil. No futuro este será um grande campo de pesquisa.

A Figura 6, apresenta os valores de SPBI (*Statistical Pass-By Index*) para os cinco pavimentos testados, considerando velocidades média e alta; a primeira observação é que, para qualquer tipo de pavimento, os valores preconizados pela NBR10151 (ABNT 2000) são extrapolados (> 70bBA); nota-se, também, que o tipo de revestimento causa modificações expressivas no ruído que chegam a 5,81dBA, quando comparamos a média do CBUQ com a média do CPA. Segundo USDOT/FTHW (1995), alterações de -3 e -5dBA no ruído representam 50 e 67% de perda na energia acústica.

Outro fato que chama a atenção e que corrobora com o que foi apresentado na Figura 4 é a importância da velocidade; todavia com menor intensidade que o tipo de pavimento. O CBUQ foi o tipo de revestimento que apresentou os

maiores valores de ruído (86,84dBA), seguido do CCP (83,28dBA), do TSD (83,26dBA), do Micro (81,14dBA) e do CPA (81,03dBA).

O fato do CPA apresentar as menores medidas de ruído pode ser atribuída ao seu elevado volume de vazios (18,77%) e sua textura negativa, ou seja, a um conjunto de canaliculos interconec-

tados que permite a entrada e dissipação do som no interior do revestimento.

Chama-se a atenção também para os valores apresentados para o MICRO que estão bastante próximos do CPA; na prática, ambas são camadas funcionais, todavia o custo do MICRO é bastante inferior, o que, no quesito ruído, daria vantagem a esse tipo de solução.

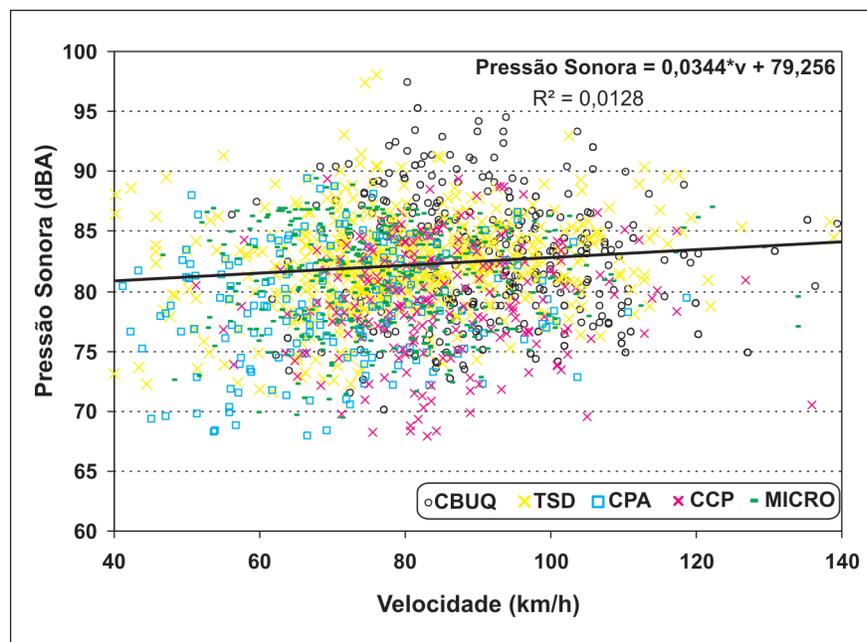


Figura 5 - Relação entre velocidade e pressão sonora.

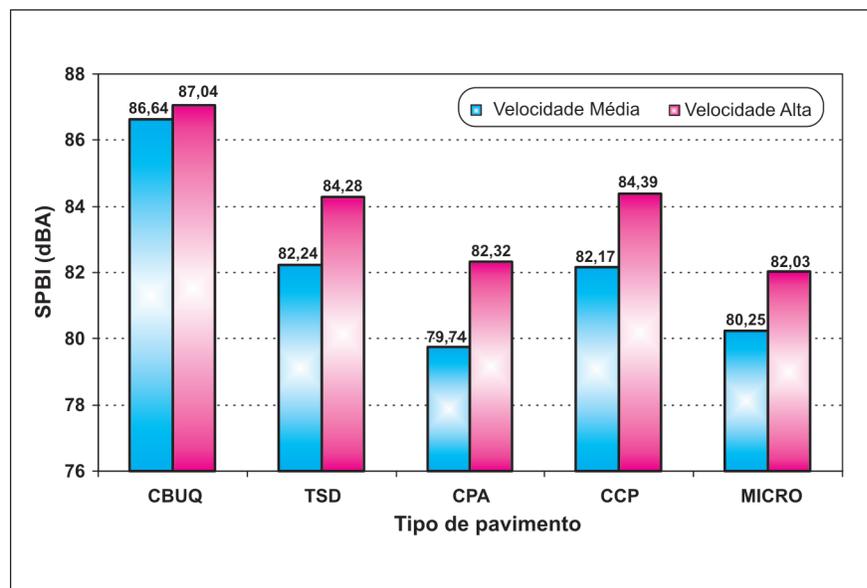


Figura 6 - Valores de SPBI (*Statistical Pass-By Index*) para os cinco pavimentos testados.

## 4. Conclusões

Cada vez mais o ruído causado pelo tráfego rodoviário tem se tornado um quesito de projeto de rodovias rurais e urbanas e tem sido alvo de pesquisas e preocupação da sociedade em geral. O artigo apresentou, a partir de 1857 medidas de ruído em cinco diferentes rodovias, o cálculo do SPIB (*Statistical Pass-By Index*) através do qual foi possível verificar a importância do tipo de pavimento sobre o ruído ambiental. Esse índice é bastante adequado para caracterização do ruído, visto que a média direta dos valores medidos não pondera a velocidade e a composição de tráfego de cada via.

O CBUQ foi o tipo de revestimento que apresentou os maiores valores de ruído (86,84dBa), seguido do CCP (83,28dBa), do TSD (83,26 dBa), do Micro (81,14dBa) e do CPA (81,03dBa). As diferenças de valores entre revestimentos chega a 5,81dBa, o que representa perda na energia acústica acima de 67%. Reforça-se, também, que a redução da velocidade traz sensíveis reduções no ruído.

Os resultados apresentados indicam a importância de se considerar o tipo de revestimento no ruído ambiental, bem como podem auxiliar na tomada de decisão de futuros projetos de engenharia rodoviária.

## 5. Referências bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique*. D965-96. In: ASTM - Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v 4.03, 2000. 3p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento*. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7731: Guia de execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem*. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. *Política nacional de transportes públicos*. ANTP. São Paulo. 2003. 9p.
- ASTRANA, C. A. L. *Estudo da absorção sonora e permeabilidade de concretos asfálticos drenantes*. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 155p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia).
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Tratamento superficial duplo*. DAER - ES - P15/91. Porto Alegre, 1998. 11p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Manual de estudos de tráfego*. Publicação IPR723. Rio de Janeiro, 2006. 384p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 11819: Acoustics - measurement of the influence of road surface on traffic noise*. Genebra, 1997, Parte 1. 31p.
- FEHRL - Forum of European National Highway Research Laboratories. (2008) Portal acessado em maio 2008 em <http://www.fehrl.org/?m=22>.
- FERNANDES, J. C. *O ruído ambiental: seus efeitos e seu controle*. São Paulo: Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP, Campus de Bauru, 2002.
- HANSON, D. I., DONAVON, P., JAMES, R. Tire/pavement noise characteristics for HMA pavements. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v.74, p.1-38, 2005.
- LÁO, V. L. E. S. T. *Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004. 266p. (Dissertação de Mestrado).
- MELLO, J. C. Transporte: presente e futuro. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33. Florianópolis, *Anais...* p.31-39, 2001.
- NASCIMENTO, L. A. H., LEITE, L. F. M., LÁO, V. L. E. S. T., JESUS, G. F. J. Pavimentos silenciosos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36. Curitiba, *Anais...* p.01-12, 2005.
- OLIVEIRA, J. A., SILVA, S. F., CERATTI, J. A. P., PALMA S. L. Implantação de um trecho experimental na RS/342 - estudo do desempenho de manta geotêxtil como retardador da propagação de trincas em pavimentos flexíveis. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 15. Rio de Janeiro, *Anais...* p.01-09, 2000.
- SANDEMBERG, U. Tyre/road noise - myths and realities. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING. *Anais...* The Hague, p.01-22, 2001.
- SCHAFER, R. M. *The tuning of the world*. New York: Knopf, 382p. 1977.
- SILENCE. Portal acessado em maio 2008 em <http://www.silence-ip.org/site/>
- SILVIA - SILenda Via - *Sustainable road surfaces for traffic noise*. Portal acessado em maio 2008 em <http://www.trl.co.uk/silvia/>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, 1995. 95p.

Artigo recebido em 22/07/2008 e aprovado em 10/06/2009.

**A REM tem novo endereço:**

**FUNDAÇÃO GORCEIX - REM**  
**Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57 - Vila Itacolomy**  
**35400-000 - Ouro Preto - MG**