

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO

Inácio, O.¹; Freitas, E.²; Raimundo, I.; Fonseca, R.²

(1) InAcoustics - Engenharia Acústica, Vibrações e Ambiente Lda., Porto, Portugal;

(2) Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

Resumo

O desenvolvimento urbano que se verificou em Portugal nas últimas décadas do século 20 foi acompanhado por um rápido e elevado crescimento do tráfego e, conseqüentemente, pela construção de vias rodoviárias quer urbanas quer rurais. A partir do ano 1980, as políticas de controlo do ruído levaram as administrações rodoviárias e os construtores a aplicarem medidas de mitigação do ruído que passaram sobretudo pela construção de barreiras acústicas e, em menor grau, pela aplicação de pavimentos com características que produzem menos ruído. Em ambos os casos, a avaliação do desempenho acústico permite a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho reais e a verificação do mesmo a longo prazo para a devida validação das soluções adoptadas. Neste trabalho apresentam-se os métodos essenciais para uma gestão eficaz do ruído rodoviário, que permitem avaliar o ruído de contacto pneu-pavimento e o desempenho acústico de dispositivos de redução de ruído do tipo barreiras acústicas. Apresenta-se ainda um método complementar para a determinação da absorção sonora em pavimentos rodoviários.

Abstract

The urban development that has occurred in Portugal in the last decades of the 20th century was accompanied by a fast growth of road traffic and, consequently, by the construction of rural and urban roadways. After 1980, the noise control policies lead the road administrations and constructors to apply noise mitigation measures, like barriers but also pavements with noise reduction characteristics. In both cases, the evaluation of the acoustic performance allows a comparison of the design specifications with real performance data and its verification at the long run for an adequate validation of the adopted solutions. In this work the essential methods for an effective road noise management that allow the evaluation of road/tyre noise and of the acoustic performance of noise reduction devices, such as noise barriers. A method for the determination of the sound absorption in road pavements is also presented.

Palavras-chave: Ruído rodoviário. Desempenho acústico. Pneu/pavimento. Barreiras acústicas.

1. Introdução

Atualmente, os valores limite para o ruído ambiente preconizados na legislação são severos, o que obriga à procura de soluções inovadoras de redução do ruído rodoviário. Essas soluções passam pela utilização e desenvolvimento de camadas de desgaste de baixo ruído. Dado que o ruído resultante do contacto pneu/pavimento é determinante no ruído total produzido pelos veículos a velocidades superiores a 40-50 km/h para veículos ligeiros (SANDBERG & EJSMONT, 2002) é fundamental avaliar-se o ruído gerado junto à roda e o que é propagado e alcança os transeuntes e as edificações. Contudo, a utilização de barreiras acústicas é uma das medidas mais difundidas para a atenuação de ruído proveniente do tráfego rodoviário e continua a ser usada massivamente. Ainda assim, a avaliação e verificação do desempenho acústico deste tipo de estruturas não é feito de forma sistemática e integrada num sistema de gestão, tal como ainda não acontece com o ruído de contacto

pneu-pavimento. Em ambos os casos, a avaliação do desempenho permite a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho reais e a verificação do mesmo a longo prazo para a devida validação das soluções adoptadas.

2. Métodos de avaliação do desempenho

2.1. Pavimentos rodoviários

A avaliação do ruído de tráfego pode ser feita sob duas vertentes, a ambiental e a do pneu/pavimento. Na vertente ambiental, o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro da República Portuguesa, estabelece e articula o novo Regulamento Geral do Ruído com outras normas e/ou regimes jurídicos portugueses. Na outra vertente, existem vários métodos que têm vindo a ser utilizados para a comparação do desempenho acústico de superfícies de estradas. De entre os métodos mais utilizados destacam-se os seguintes (SANDBERG & EJSMONT, 2002):

- Método da proximidade imediata (Close Proximity method, CPX) (ISO CD 11819-2, 2000);
- Método estatístico de passagem (Statistical Pass-By method, SPB) (ISO 11819-1: 1997); e
- Método da passagem controlada (Controlled Pass-By method, CPB).

2.1.1. Método estatístico de passagem

O método SPB baseia-se na medição dos níveis máximos de pressão sonora, ponderada A, pela passagem de um número considerável de veículos com significado estatístico de diversas categorias, num trecho específico da estrada para as velocidades de circulação recomendadas (ISO 11819-1: 1997).

Para esta medição, o microfone deverá estar localizado a $1,2 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ acima do plano da faixa de rodagem e a $7,5 \text{ m}$ da linha central da via de tráfego. Assim, a cada passagem individual de um veículo, o nível sonoro (máximo) e a velocidade do veículo são registados. Os níveis de ruído dos veículos de cada categoria são adicionados, assumindo determinadas proporções por categoria, para fornecer um único "índice" que constitua o resultado final. Este índice é designado por Índice Estatístico de Passagem (SPBI) e pode ser usado na comparação da camada superficial de pavimentos rodoviários, de modo a que a sua influência no nível de ruído de um fluxo de tráfego misto possa ser determinada. A variabilidade da composição do tráfego é frequentemente um entrave à aplicação integral deste método, pelo que muitas vezes se compara diretamente os níveis de ruído a diferentes níveis de velocidade obtidos em pavimentos diferentes e considerando uma única categoria de veículos. O método CPB difere do método SPB apenas no que respeita aos veículos. Neste caso os veículos são seleccionados em vez de serem os de passagem corrente na estrada.

2.1.2. Método da proximidade imediata

A medição do ruído pelo método CPX pode ser realizada de duas formas: (i) utilizando um atrelado normalizado (puxado por um veículo comum) onde são colocados pneus de ensaio e pelo menos dois microfones junto do pneu ou, alternativamente, (ii) os microfones são colocados junto a uma roda do próprio veículo. O esquema de montagem dos microfones deve estar de acordo com o definido na norma ISO CD 11819-2:2000.

2.1.3. Ensaios complementares: absorção sonora

A absorção do som é influenciada pelas características da superfície do pavimento, tais como a espessura da camada, a resistividade (que pode ser determinada indiretamente pela granulometria), a porosidade e a tortuosidade. Além disso, a absorção é influenciada pelo ângulo de incidência das ondas sonoras sobre a superfície. Para se alcançar a redução máxima de ruído produzido pelo tráfego é

importante ajustar-se as propriedades de absorção de som pela superfície da estrada com as características da composição de tráfego. A medição da absorção sonora é fundamental na fase de concepção para otimizar esta característica do material (BLOKLAND & ROOVERS, 2005) e na fase de exploração para avaliar o desempenho acústico ao longo do tempo.

2.2. Barreiras acústicas

A Norma Europeia CEN/TS 1793-5:2003, actualmente na versão portuguesa NP 4471:2007, vem pela primeira vez normalizar um método de ensaio de aplicação aos dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário, do tipo barreira acústica. Este método utiliza um sinal de ensaio MLS (Maximum Length Sequence), gerado por uma fonte sonora, que captado por um microfone possibilita determinar a resposta global ao impulso entre estes elementos. Este sinal garante uma boa relação sinal/ruído, uma boa imunidade ao ruído de fundo, através de uma correlação periódica entre o sinal emitido pela fonte e o sinal recebido pelo microfone. É ainda um método fácil e económico de ser aplicado, sendo o limite inferior da frequência de fiabilidade a maior limitação: é apenas possível classificar os produtos em toda a gama desde os 100Hz até aos 5kHz para amostras com dimensões superiores a $4,0 \times 4,0 \text{ m}^2$.

2.2.1. Metodologia de avaliação

O ensaio de determinação do isolamento a sons de condução aérea do dispositivo consiste na emissão de uma onda sonora, a partir de uma fonte direccionada colocada num dos lados da barreira acústica (lado da rodovia), e na recepção da mesma através de um microfone colocado no outro lado da barreira, em 9 pontos distintos formando a grelha vertical de medição. O microfone recebe, quer a onda de pressão sonora transmitida, que se propaga através do dispositivo em ensaio, quer a onda de pressão sonora difractada pelo bordo superior. O desfasamento no tempo das duas ondas permite, através da aplicação de uma janela temporal, eliminar a componente difractada. A determinação do isolamento é realizada por comparação do nível da componente transmitida com o nível de uma onda directa em campo aberto. Esta última é obtida por repetição da medição sem o dispositivo em ensaio entre a fonte sonora e o microfone. O índice de isolamento sonoro, calculado através dos espectros de potência das componentes directa e reflectida, é igual à média logarítmica dos índices de isolamento sonoro medidos em cada ponto da grelha.

2.2.2. Procedimento de medição e de análise de dados

O procedimento de medição é baseado na relação dos espectros de potência de sinais extraídos de respostas a impulso amostradas com o mesmo equipamento, no mesmo local e nas mesmas condições. Uma calibração

absoluta da cadeia de medição relativamente ao nível de pressão sonora não é, portanto, necessária. A fonte sonora deve ser posicionada conforme mostra a Figura 1. O microfone deve ser colocado subsequentemente nos nove pontos da grelha de medição conforme mostra a Figura 2. A resposta ao impulso em campo aberto é obtida com a mesma configuração geométrica de montagem mas sem a presença da barreira. Em barreiras constituídas por painéis fixados por postes verticais, deverão ser realizadas medições nos nove pontos da grelha de medição colocada no centro dos painéis mas também colocando a grelha de medição em frente aos postes.

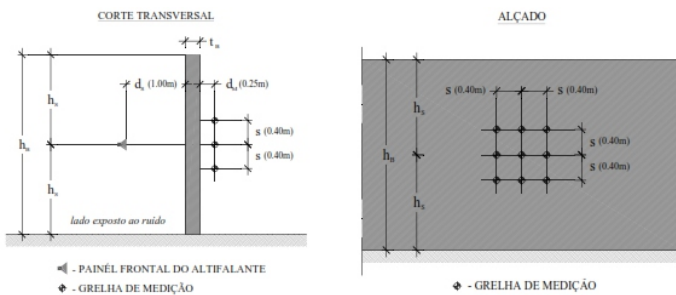


Figura 1: Geometria de posicionamento da fonte sonora e microfones

A transformação do sinal entre o domínio tempo e o domínio frequência deve ser efetuado utilizando uma janela temporal, denominada “janela temporal Adrienne”, com as seguintes especificações: (i) um bordo frontal com metade esquerda em forma de Blackman-Harris e um comprimento total de 0,50ms; (ii) uma parte plana com um comprimento total máximo de 5,18ms; (iii) um bordo posterior com a metade direita em forma de curva de Blackman-Harris e um comprimento total de 2,22ms. O comprimento total máximo da janela temporal de Adrienne é de $T_{W,ADR} = 7,90ms$.

A introdução dessa janela permite eliminar a componente difractada do sinal, isolando a componente transmitida. As componentes indesejadas que devem ser mantidas fora da janela temporal são: (i) as componentes de som difractado pelos bordos do dispositivo de redução de ruído em ensaio; (ii) as componentes de som reflectido pelo solo, no lado fonte-receptor do dispositivo de redução de ruído em ensaio. Para a componente direta, o início da parte plana deve ser colocado 0,20ms antes do pico correspondente à componente direta (ponto marcador) e termina após 7,40ms.

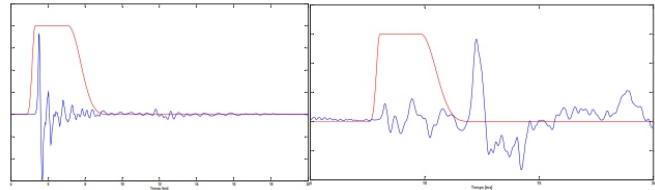


Figura 2: Janela temporal de Adrienne aplicada à função de resposta ao impulso medida (a) em campo aberto e (b) com a barreira para a posição 5 do microfone.

Para a componente transmitida, o início da parte plana deve ser colocado 0,20ms antes do pico da correspondente à componente transmitida (ponto marcador) e termina após 7,40ms ou no começo convencional da difração, consoante o que ocorrer primeiro de entre os dois (a distância temporal entre o pico relativo à componente transmitida e à componente difratada depende da altura da barreira) – ver figura 2b). Para barreiras acústicas com uma altura menor que o comprimento, na generalidade, a componente mais crítica é a difratada pelo bordo superior. O limite inferior de frequência (f_{min}), corresponde ao valor mais baixo da frequência que deve ser utilizado das medições para o cálculo do isolamento sonoro. Este valor depende da largura da janela temporal de Adrienne, que depende por sua vez da menor dimensão da barreira. Esta limitação prende-se com a relação dimensional entre os comprimentos de onda e as dimensões da barreira.

2.2.3. Determinação do Número Único do Isolamento Sonoro Aéreo

A classificação do índice único do isolamento sonoro aéreo para elementos e postes medido in situ, DLSI, em decibel, é dada por:

$$DL_{SI} = -10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \times 10^{-0,1 \cdot SI_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right] \quad [Eq.01]$$

Onde:

$m = 4$ (número da banda de frequência de um terço de oitava de 200Hz);

s níveis de pressão sonora relativos (dB), de ponderação A, do espectro de ruído de tráfego normalizado, definido em EN 1793-3: 2007, na banda de frequência de um terço de oitava, de ordem j .

3. Casos de estudo

3.1. Avaliação do desempenho acústico de pavimentos

Para a avaliação do desempenho acústica das camadas superficiais dos pavimentos utilizadas em Portugal foi selecionada uma amostra de 8 tipologias (Tab. 1) localizadas em estradas nacionais.

Tabela 1: Descrição do material que caracteriza a camada superficial do pavimento e sua designação

Descrição do material	Designação da camada
Microbetão Betuminoso (MBR7)	S1
Mistura Betuminosa Aberta com Borracha (média % de borracha) (MBA BMBm)	S2
Mistura Betuminosa Aberta com Betume Modificado com Borracha (MBA BMB12)	S3
Mistura Betuminosa Aberta com Betume Modificado com Borracha (MBA BMB10)	S4
Betão Betuminoso Denso (BD16)	S5, S6
Microaglomerado (McB)	S7, S13
Cubos de Granito (CG)	S8
Betão Betuminoso Rugoso (BBR12)	S12

Para a medição do ruído contacto penu-pavimento foram utilizados dois métodos, o método CPX e o método CPB. A Figura 3a) mostra a configuração de montagem dos microfones utilizada no método CPX. Neste caso utilizou-se um atrelado onde o sistema foi adaptado, o que minimiza a interferência do ruído do motor nas medições efetuadas. O pneu de ensaio utilizado foi o AVON AV4, de acordo com o recomendado em (MORGAN et al., 2009). A escolha do método CPB, que para além do ruído gerado junto à roda considera também o efeito do pavimento na sua propagação. Tem por principal vantagem um maior controlo do ensaio no que respeita às velocidades praticadas, acelerações/desacelerações indesejadas e estado dos pneus. Por outro lado, pode não representar totalmente as características do tráfego. Na Fig. 3b) mostra-se a configuração do ensaio e o equipamento usado. Os veículos selecionados foram 3 veículos ligeiros considerados representativos da frota portuguesa. Os ensaios foram realizados nos dois métodos a velocidades compreendidas entre 30 km/h e 100 km/h, com a superfície seca uma vez que a água altera significativamente o nível de ruído (FREITAS et al., 2009; RAIMUNDO et al., 2010). A temperatura do ar e da superfície e a velocidade do vento foram registadas, embora não tenham sido utilizados para corrigir os valores medidos. Existem algumas indicações para a correção da temperatura (ANFOSSO-LÉDÉE e PICHAUD, 2007), contudo é ainda necessário efetuar-se um estudo para as condições portuguesas. Para a medição da absorção, foi usado um tubo de impedância auto-fabricado com 80 mm de diâmetro, de acordo com o apresentado em FREITAS et al. (2010). A principal característica deste tubo é a extremidade aberta que é colocada sobre a superfície a ser

avaliada (Fig. 3c)). O coeficiente de absorção é calculado em função da impedância acústica ao longo de um intervalo de frequência de 250 Hz a 2,5 kHz (1/3 de oitava).

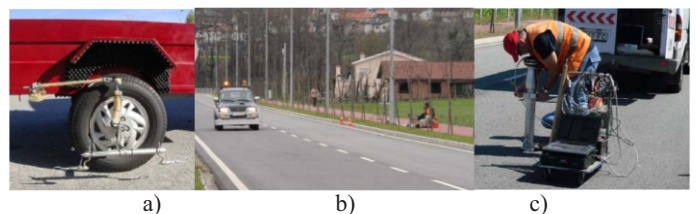


Figura 3: Detalhes dos ensaios de avaliação do desempenho: a) configuração de montagem dos microfones em atrelado; b) ensaio pelo método CPB; c) ensaio de absorção em campo

3.2. Apresentação e discussão dos resultados da avaliação do desempenho acústico de pavimentos

3.2.1 Método CPX

Na figura 4 apresenta-se a média do nível de ruído determinado por troços de 10 m determinada ao longo da extensão considerada (200 m) de parte das secções do estudo. Apesar das diferenças de idade e de tipologia, as superfícies avaliadas não apresentam diferenças assinaláveis, com a exceção da secção S2, por apresentar valores inferiores a todos os níveis de velocidade. Através desta metodologia também é possível analisar-se a variação do nível de ruído com a velocidade, que neste caso é muito semelhante. Contudo, esta informação é relevante na seleção das camadas superficiais particularmente em zonas de tráfego elevado e rápido.

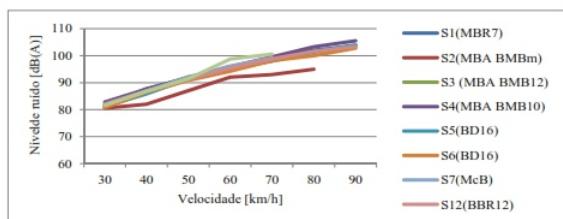


Figura 4: Níveis de ruído máximos medidos para as velocidades de 30 km/h a 90 km/h

3.2.2 Método CPB

Na figura 5 representa-se os níveis de ruído dos veículos ligeiros para as várias superfícies, para as velocidades de 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h e 90 km/h. Estes valores foram calculados a partir da reta de regressão do nível de ruído versus logaritmo decimal da velocidade. A qualidade de ajuste das retas determinadas pode ser considerada excelente, o que se deve ao facto do ensaio ser controlado. A partir dessa figura pode analisar-se o desempenho relativo de cada tipo de camada e a sensibilidade de cada uma delas ao aumento da velocidade. Assim, verifica-se que a superfície em cubos de granito (S8) em quase todas as velocidades, apresenta os maiores níveis de ruído. Observa-se a seguir um conjunto de camadas, de natureza fechada com níveis de ruído muito semelhantes. Destacam-se a superfície S2, pelos seus valores reduzidos a todas as velocidades, sendo caracterizada por uma textura positiva, e a superfície S1 com um desempenho excelente a velocidades elevadas, sendo caracterizada pela dimensão reduzida dos agregados e também pela sua textura positiva. Salienta-se que estes resultados evoluem com o tempo devido à acção do tráfego que altera as características das superfícies, particularmente a textura e a porosidade (FREITAS, 2012).

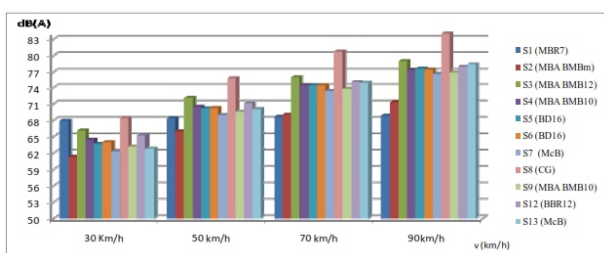


Figura 5: Níveis de ruído máximos estimados para as velocidades de 30 km/h a 90 km/h

3.2.3. Absorção sonora

Na Figura 6 apresenta-se em a) o coeficiente de absorção sonora médio, medido de 10 m em S4(MBA BMB10)10 m ao longo da secção de ensaio, e em b) o espectro de absorção sonora que mais se aproxima do valor médio. A maioria dos valores encontra-se abaixo dos 5%, o que corresponde a materiais reflectores. Destaca-se

novamente a superfície S2, cujo coeficiente de absorção médio se aproxima de 30% e que pontualmente ultrapassa os 40% a cerca de 1100 Hz.

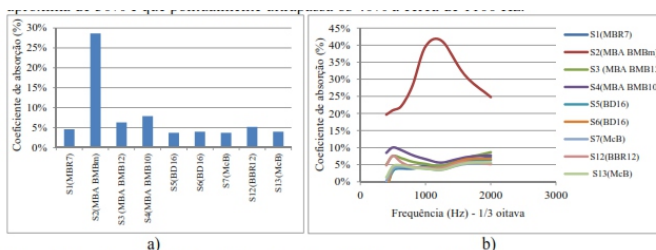


Figura 6: Absorção sonora: a) valor médio ao longo da secção; b) espectro de absorção sonora

3.3. Avaliação do desempenho de barreiras acústicas

Para aplicação do método foram realizadas medições numa barreira acústica de blocos de betão, aplicada numa auto-estrada, constituída por panos verticais de espessura constante, travados verticalmente por pilares em bloco afastados de 4,65m. A seleção da barreira para uso nestes testes foi efetuada considerando essencialmente a facilidade de acesso e a sua representatividade para o tipo de barreira em causa. Os ensaios foram realizados com recurso a um sinal Sequência de Máximo Comprimento (MLS) conforme preconizado na norma portuguesa. Para a realização do ensaio foi utilizado o seguinte equipamento: (i) fonte sonora Bruel & Kjaer Sound Source Type 4224; (ii) microfone omnidireccional e pré-amplificador tipo 1 da BSWA; (iii) placa de som D-Audio de 2 canais; (iv) computador portátil com software WinMLS e MATLAB. Os resultados dos ensaios realizados encontram-se ilustrados na figura 6, onde se mostra como exemplo, uma resposta ao impulso da componente obtida na posição central (posição 5), os índices de isolamento sonoro (SI), em função da frequência, em bandas de um terço de oitava. O pós-processamento dos dados foi realizado com base em código MATLAB desenvolvido para esta investigação. Para uma comparação mais direta com os parâmetros típicos de especificação de projeto, (GARAI e GUIDORZI, 2000) propõem as seguintes expressões para determinação do valor do Índice de Redução Sonora (R_w) a partir dos valores obtidos de nos elementos:

$$DL_R = 0,93 \cdot R_w + 0,37 \quad [E.02]$$

$$DL_{SI} = 1,18 \cdot DL_R - 0,94 \quad [E.03]$$

em que DL_R é o índice único do isolamento sonoro aéreo medido em laboratório.

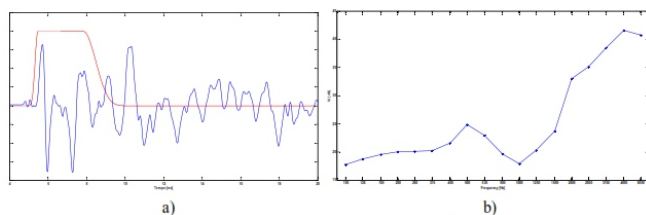


Figura 7: a) Resposta ao impulso da componente transmitida (posição 5) e b) Índice de Isolamento Sonoro SI em dB, por bandas de 1/3 de oitava

De acordo com os resultados obtidos para o índice de isolamento sonoro (SI), utilizando a expressão [Eq.01] determina-se o número único do isolamento sonoro aéreo: $DLSI = 21,4\text{dB}$. O valor de RW estima-se com recurso às expressões [Eq. 02] e [Eq. 03]: $RW = 20,0\text{dB}$. Em primeiro lugar importa evidenciar o fraco índice de isolamento sonoro da barreira de alvenaria. O principal motivo deste valor prende-se com o facto de esta barreira ser constituída por blocos de pequena dimensão em que as juntas verticais entre blocos não estão preenchidas por argamassa. Por este motivo a componente transmitida tem maior facilidade em atravessar a barreira, como se pode comprovar na Fig. 7a) onde a componente transmitida tem aproximadamente a mesma amplitude da componente difractada.

Conclusões

Este trabalho apresenta os métodos essenciais para uma gestão eficaz do ruído rodoviário, que permitem avaliar o ruído de contato pneu-pavimento e o desempenho acústico de dispositivos de redução de ruído. Apresenta ainda um método complementar para a determinação da absorção sonora em pavimentos rodoviários. A aplicação destes metodologias permitiu avaliar o desempenho de um conjunto de camadas de pavimentos de forma relativa, sendo que o método CPX, apesar de se integrar na corrente de tráfego e por isso de maior interesse no domínio rodoviário, parece ser menos sensível do que o ensaio CPB. Por sua vez, a metodologia proposta para avaliar o desempenho acústico dos dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário conduz a bons resultados. No entanto, a sua aplicação nos locais de instalação das barreiras pode ser difícil por diversos motivos: condições do terreno e acessibilidades e condições meteorológicas. A altura reduzida de grande parte das barreiras existente implica um limite inferior de frequência elevado, isto é, não é possível determinar os valores do isolamento sonoro para as bandas de frequência mais baixas.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado no âmbito do Programa Operacional Temático Factores de Competitividade (COMPETE) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER, através dos projetos FCOMP- 01-0124-FEDER-007560 e PEST-OE/ECI/UI4047/2011.

Referências

1. ANFOSSO-LÉDÉE, F. AND PICHAUD, Y. (2007). Temperature effect on tyre-road noise. *Applied Acoustics* 68, pp 1-16.
2. BLOKLAND, G. AND ROOVERS, M. (2005). Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control - Measurement Methods, D14, SILVIA report M+P-015-02-WP2-14/07/05, European Commission.
3. FREITAS, E., PEREIRA, P., PICADO-SANTOS, L., SANTOS, A. (2009). Traffic Noise Changes Due to Water on Porous and Dense Asphalt Surfaces. *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 10 N°3/2009 - July- September, pp587-608.
4. FREITAS, E.; RAIMUNDO, I.; INÁCIO, O; PEREIRA, P., (2010). In situ assessment of the normal incidence sound absorption coefficient of asphalt mixtures with a new impedance tube. 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - INTER-NOISE 2010, Lisbon.
5. FREITAS, E., The effect of time on the contribution of asphalt rubber mixtures to noise abatement. *Noise and Control Engineering Journal*, 60 (1), Jan-Feb 2012. DOI: 10.3397/1.3676311.
6. GARAI, M.; GUIDORZI, P. (2000). European Methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108 (3), pp 1054-1067.
7. ISO 11819-1: 1997. Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: statistical pass-by method.
8. ISO CD 11819-2: 2000. Acoustics - Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 1: The Close Proximity Method.
9. MORGAN, P., SANDBERG, U., BLOKLAND, G. (2009). The selection of new reference test tyres for use with the CPX method, to be specified in ISO/TS 11819-3. 38th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - INTER-NOISE 2009, Ottawa.
10. Norma Portuguesa NP EN 1793-3: 2007 - Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinar o desempenho acústico. Parte 3: Espectro normalizado do ruído do tráfego.
11. Norma Portuguesa NP 4471: 2007 - Dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinar o desempenho acústico. Características intrínsecas. Valores de reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo no local.
12. RAIMUNDO, I.; FREITAS, E., INÁCIO, O; PEREIRA, P., (2010). Sound absorption coefficient of wet gap graded asphalt mixtures. 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - INTER- NOISE 2010, Lisbon.
13. SANDBERG U., EJSBOM J. (2002). *Tire / Road Noise Reference Book*, Informex SE - 59040, Kisa, Sweden