

Avaliação do Ruído de Tráfego: Metodologia para a Caracterização de Camadas de Desgaste Aplicadas em Portugal

M. L. Antunes, A. S. Coutinho e J. Patrício
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

E. Freitas
Universidade do Minho, Portugal

J. Paulo e J. B. Coelho
CAPS, Instituto Superior Técnico, Portugal
Portugal

F. T. Cardoso
Estradas de Portugal, S. A.

RESUMO: Uma das consequências do desenvolvimento económico verificado nas últimas décadas é o aumento significativo do tráfego rodoviário. O ruído induzido pelo tráfego é um importante factor de poluição ambiental que afecta cada vez um maior número de pessoas.

Nesta comunicação efectua-se a comparação do nível de ruído (L_{max}) registado para os veículos ligeiros, e pesados, de acordo com o método estatístico de passagem (SPB), e para os veículos ligeiros segundo o método de passagem controlada (CPB) e o método da proximidade imediata (CPX) em trechos piloto.

Usam-se os métodos SPB e CPX como preconizado nas normas ISO 11819-1:1997 e ISO CD 11819-2. Quanto ao método CPB, foi usada uma adaptação do método SPB com veículos seleccionados. Neste caso foram realizadas 4 passagens \times 4 velocidades (50, 80, 100 e 110 km/h) \times 4 veículos (2 ligeiros, 1 4 \times 4, 1 carrinha).

Apresentam-se os resultados obtidos por cada um dos métodos, por forma a definir a metodologia mais adequada para a caracterização de camadas de desgaste de pavimentos em serviço em Portugal, tendo em conta o tipo de via de tráfego e as respectivas velocidades legais de circulação.

PALAVRAS CHAVE: Ruído, camadas de desgaste,

1. INTRODUÇÃO

Uma das consequências do desenvolvimento económico verificado nas últimas décadas é o aumento significativo do tráfego rodoviário. O ruído induzido pelo tráfego é um importante factor de poluição ambiental que afecta cada vez um maior número de pessoas.

O ruído associado ao funcionamento do motor tem vindo a ser reduzido com sucesso nos últimos anos, devido às novas tecnologias. Neste contexto, e como solução complementar de redução do ruído na fonte, tem-se vindo a dar uma importância cada vez maior ao ruído de rolamento, ou seja, ao ruído resultante da interacção entre o pneu e a superfície do pavimento rodoviário.

Tendo em vista dispor de mecanismos para controlar o ruído de rolamento, está em curso um projecto de investigação que tem em atenção o estudo de técnicas a aplicar em camadas de desgaste que contribuam para a redução do ruído. Este projecto, no âmbito do qual se prevê a construção de trechos experimentais onde serão aplicadas as técnicas consideradas como mais promissoras, envolve ainda a avaliação, numa primeira fase, do ruído induzido pela passagem do tráfego em diferentes locais da rede Nacional, considerados representativos dos principais tipos de camadas de desgaste aplicados em Portugal.

O conjunto de secções seleccionadas para a primeira fase do estudo compreende pavimentos com os seguintes tipos de camadas de desgaste, e com diferentes idades:

- Betão betuminoso “tradicional”;
- Betão betuminoso rugoso;
- Betão betuminoso drenante;
- Mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (elevada percentagem);
- Mistura betuminosa rugosa com betume modificado com borracha (elevada percentagem).

O betão betuminoso “tradicional” será utilizado como camada de desgaste de “referência”, para efeitos de comparação com os outros tipos de materiais.

Os ensaios a realizar em cada secção compreendem, para além da avaliação do ruído de tráfego, a caracterização da macro-textura superficial do pavimento, uma vez que esta é uma característica que está intimamente relacionada com a interacção pneu-pavimento em particular no que concerne ao ruído.

Neste trabalho apresentam-se os primeiros resultados obtidos num troço de pavimento que inclui duas secções contíguas com diferentes camadas de desgaste, e referem-se os principais aspectos da metodologia a seguir para a caracterização das restantes secções, tendo em conta esses mesmos resultados.

2. METODOLOGIAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO

Existem diversas metodologias para a caracterização do ruído de tráfego produzido pelos veículos e pela interacção pneu/pavimento (Sandberg, U.; Ejsmont, J.A., 2002). Os métodos SPB (Statistical Pass-By) e CPB (Controlled Pass-By) incluem-se nos métodos considerados adequados para a caracterização do ruído em estudos relacionados com os pavimentos. Por sua vez, o método CPX (Close Proximity) é também cada vez mais utilizado em estudos desta natureza, dada a sua simplicidade e a sua versatilidade em termos de condições de aplicação, embora não permita avaliar todos os aspectos que se inter-relacionam com o ruído pneu/pavimento, como por exemplo efeitos relacionados com a propagação/absorção sonora.

2.1. Método SPB

O método SPB está normalizado pela norma ISO 11819-1 (1997) e consiste essencialmente na medição do nível de ruído produzido pelos veículos que compõem a gama de tráfego “habitual” de cada estrada, em condições normais de circulação, através de microfones posicionados a 7,5m do eixo da via.

Para cada passagem de veículo, é registado o nível sonoro máximo ponderado A, assim como a velocidade e o tipo de veículo correspondente, assente na utilização de uma classificação simples em dois ou três grupos. Após a passagem de, pelo menos, 100 veículos ligeiros e 80 pesados, é estabelecida uma correlação linear entre a velocidade logaritmizada e

o nível sonoro máximo obtido, determinando-se em seguida o nível sonoro correspondente a uma determinada velocidade de referência estabelecida em função do tipo de estrada.

Uma das principais desvantagens deste método reside na dificuldade em encontrar um troço de estrada apropriado sem curvas ou inclinações acentuadas, e sem superfícies reflectoras nas proximidades do microfone. Por outro lado, as medições podem ser dificultadas em estradas com tráfego elevado, uma vez que apenas são válidos os registos que não têm interferência de outros veículos, para além daquele que está a ser considerado.

2.2. Método CPB

O método CPB consiste essencialmente na medição do nível de ruído produzido por um conjunto restrito e pré-definido de veículos de ensaio, circulando a velocidades constantes pré-determinadas, utilizando uma metodologia semelhante à descrita para o SPB (microfones posicionados a 7,5m do eixo da via).

Relativamente ao SPB, este método possui a vantagem de fornecer elementos que não dependem do tráfego que circula na estrada numa determinada altura, sendo pois interessante para efeitos de comparação de diferentes tipos de pavimentos. No entanto, observam-se as mesmas dificuldades associadas à utilização do método SPB, nomeadamente à escolha do local/troço de medição.

2.3. Método CPX

O método CPX consiste essencialmente na medição do ruído resultante da interacção de um pneu de ensaio e o pavimento, recorrendo ao uso de 2 ou mais microfones colocados nas proximidades do pneu, montados num veículo ou num atrelado especialmente adaptado para o efeito. O método CPX é objecto de um projecto de norma ISO (ISO/CD 11819-2), que estabelece as principais características do equipamento de ensaio e define os procedimentos de medição a adoptar. São geralmente realizadas diversas passagens a velocidades controladas, devendo-se utilizar diferentes tipos de pneus, com vista a ter um conjunto de resultados representativo dos diversos pneus existentes nos veículos correntes.

Este método é o mais indicado quando se pretende caracterizar grandes extensões de pavimento (por exemplo, para a caracterização ao nível de rede), tendo como principais vantagens, para além da sua simplicidade de operação, uma grande versatilidade, uma vez que, dada a proximidade dos microfones em relação à fonte de ruído, não se lhe aplicam as restrições estabelecidas para os métodos anteriores, relacionadas com superfícies reflectoras ou com a passagem de outros veículos. Este método é particularmente interessante quando se pretendem comparar diferentes tipos de camadas de desgaste.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a realização da primeira campanha de ensaios de caracterização de camadas de desgaste aplicadas em Portugal, foi seleccionado um troço do IC1 entre Ourique e Santana da Serra. Este troço foi objecto de obras de reabilitação realizadas em 2004, no âmbito das quais foi aplicada uma nova camada de desgaste em mistura betuminosa rugosa com betume modificado com elevado conteúdo de borracha (MBR-BMB). Mais concretamente o troço escolhido situa-se nas proximidades do acesso à Portela do Lobo, numa zona onde é possível desviar o trânsito do IC1 para uma estrada paralela mais antiga.

A zona seleccionada para a realização das medições compreende um troço com camada de desgaste em MBR-BMB, localizado entre os pk 687+000 e 687+215, e um troço com camada de desgaste em betão betuminoso convencional, localizado entre os pk 687+215 e 687+350, aplicado na sequência da reparação das juntas da ponte sobre a Ribeira do Guilherme. Houve assim oportunidade de ensaiar 2 tipos de camada de desgaste. As medições foram realizadas considerando o tráfego circulante no sentido N/S.

A campanha de ensaios compreendeu as seguintes actividades:

- Medição do nível de ruído induzido pela circulação normal do tráfego, pelo método SPB;
- Medição do nível de ruído induzido por 4 viaturas ligeiras, pelo método CPB;
- Medição do nível de ruído pelo método CPX;
- Caracterização das velocidades dos veículos durante as medições do ruído, utilizando um sistema de vídeo;
- Determinação da profundidade média do perfil da superfície (MPD) através de um perfilómetro de elevado rendimento utilizando laser de alta frequência (ISO 13473-1);
- Determinação da profundidade de textura pelo método volumétrico da mancha (EN 13036-1: 2001).

Tendo em vista a medição do ruído pelos métodos SPB e CPB foram instalados sonómetros sensivelmente a meio de cada um dos troços anteriormente definidos, em locais adjacentes à estrada, a cerca de 7,5 m do eixo da via do sentido N/S. Foi ainda instalado na zona um sistema de vídeo para registo do tráfego durante os ensaios e para medição das velocidades de circulação. Para cada passagem de veículo, foi registado o nível sonoro máximo ponderado A, o tipo de veículo e a hora. O tratamento em laboratório dos dados recolhidos pelo sistema de vídeo permitiu posteriormente associar a velocidade de cada veículo às medições efectuadas.

O equipamento utilizado para a medição pelo método CPX inclui dois microfones fixados junto à roda posterior direita de um veículo ligeiro, posicionados de acordo com as recomendações do projecto de norma ISO CD 11819-2 (2000). O resultado final é determinado a partir da média dos sinais registados pelos dois microfones, após processamento em laboratório.

As medições com vista à avaliação do ruído pelo método SPB foram efectuadas durante cerca de 3 horas, findas as quais se procedeu ao fecho da estrada e à realização de ensaios pelo método CPB, utilizando 4 veículos ligeiros: dois ligeiros de passageiros (designados por veículos 1 e 2), um veículo todo o terreno (veículo 3) e uma viatura comercial (veículo 4). Para cada um dos veículos foram realizadas 4 passagens a 50, 80, 100 e 110 km/h. Um dos veículos ligeiros utilizados no ensaio CPB era aquele onde estava instalado o equipamento CPX. A Figura 1 ilustra a realização dos ensaios SPB e um pormenor do equipamento CPX.



Figura 1: Aspecto da realização dos ensaios SPB (à esquerda) e pormenor do equipamento para ensaios CPX (à direita)

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Caracterização da textura superficial

A caracterização da textura superficial correspondente a cada troço foi realizada com o perfilómetro Laser do LNEC, complementado com ensaios pelo método da mancha realizados nas proximidades do local onde estavam instalados os sonómetros. As metodologias de ensaio adoptadas estão descritas em (Freitas, E. *et al*, 2008). Os resultados obtidos com o perfilómetro laser nas vias de sentido N/S e S/N apresentam-se na Figura 2. Os correspondentes valores médios e desvios padrão calculados por troço e para a via ensaiada apresentam-se no Quadro 1.

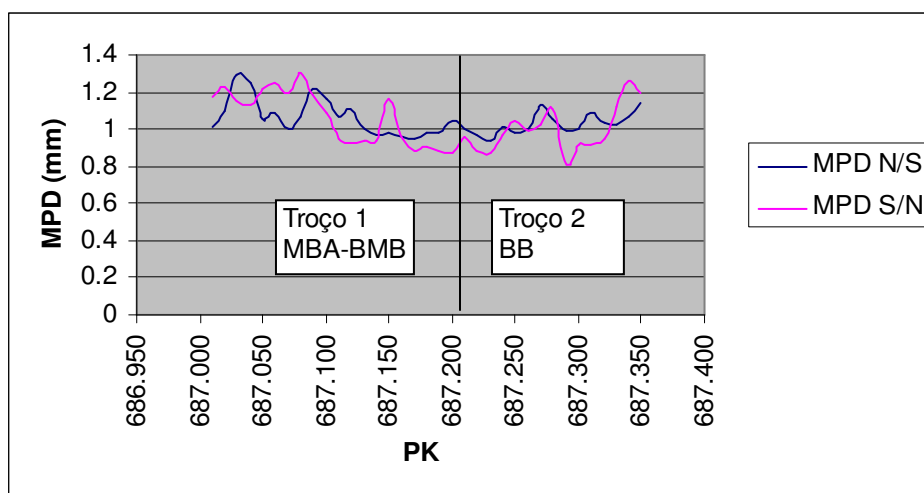


Figura 2: Valores do MPD obtidos com o perfilómetro laser em ambas as vias

Quadro 1: Resumo dos resultados de caracterização da profundidade de textura superficial na via de ensaio

		Troço 1 (MBR-BMB)		Troço 2 (BB)
MPD (mm)	Média	1,06		1,03
	Desvio padrão	0,098		0,061
MTD (mm)		1,02 (*)	1,27(**)	1,20(*)

(*) Valores medidos na rodeira

(**) Valores medidos entre rodeiras

Os resultados obtidos indicam que não existem diferenças significativas nas profundidades de textura nos dois troços, por qualquer um dos métodos de ensaio utilizados. De referir no entanto, que a inspeção visual das duas camadas de desgaste indica que a camada de MBR-BMB possui um agregado com maior dimensão máxima que a camada de betão betuminoso convencional. Não foi possível obter as curvas granulométricas das misturas aplicadas.

4.2. Ensaio SPB

A caracterização do ruído pelo método SPB foi realizada durante cerca de 2 horas, tendo-se considerado o número de leituras constante no Quadro 2. As categorias dos veículos indicadas são as estabelecidas na norma ISO 11819-1, e são as seguintes: categoria 1, veículos ligeiros; categoria 2a, veículos pesados com 2 eixos; e categoria 2b, veículos pesados com mais do que 2 eixos.

O registo das velocidades dos veículos foi realizado com recurso a um equipamento “Traficon”, com base na leitura de imagens de vídeo. Apesar de este equipamento ter a vantagem de permitir a posterior visualização dos veículos em laboratório, recomenda-se, com base na experiência adquirida, que seja feito manualmente o registo do tipo de veículo correspondente a cada leitura. Verificou-se também que seria útil registar simultaneamente a velocidade instantânea medida através de equipamentos de radar ou laser.

Quadro 2: Número de veículos considerados nos ensaios SPB

Categoria	Troço 1	Troço 2
1	66	92
2a	2	5
2b	33	47

A análise dos resultados foi realizada conforme recomendado na norma ISO 11819-1. As velocidades de referência estabelecidas com base nas medições foram de 80 km/h e de 70 km/h, respectivamente para os veículos ligeiros e pesados. No Quadro 3 apresentam-se os valores obtidos para os níveis sonoros dos veículos, L_{veh} em cada um dos tipos de camadas de desgaste. Não foi possível calcular o índice SPBI dado que o número de veículos da classe 2a foi inferior a 30, valor mínimo exigido pela norma ISO 11819-1.

Quadro 3: Valores de L_{veh} (dB(A)) obtidos nos ensaios SPB

Categoria	Troço 1	Troço 2
1	77,6	75,1
2b	85,6	82,3

4.3. Ensaio CPB

Os ensaios realizados pelo método CPB permitiram estabelecer correlações entre as velocidades e o nível de ruído emitido para cada um dos veículos utilizados. Estas correlações apresentam-se nas Figuras 3 e 4. Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 4.

Quadro 4: Níveis de ruído obtidos pelo método CPB para as velocidades de referência

Veículo	Velocidade (km/h)	Troço 1 (MBR-BMB)			Troço 2 (BB)		
		$(L_{max})_{med}$ (dB(A))	L_{veh} (dB(A))	Erro rel (%)	$(L_{max})_{med}$ (dB(A))	L_{veh} (dB(A))	Erro rel (%)
1 (Mazda)	50	70,4	70,5	-0,2	68,5	68,5	0,1
	80	76,6	76,2	0,5	74,7	74,6	-0,2
	110	80,9	80,7	0,2	78,5	78,7	0,3
2 (Opel Astra)	50	68,6	68,5	0,2	67,6	67,5	0,0
	80	75,1	75,5	-0,4	73,4	73,5	0,1
	110	79,6	79,6	0,1	77,4	77,5	0,1
3 (Mitsubishi)	50	71,4	71,4	0,0	70,0	70,1	0,1
	80	77,4	77,4	0,0	76,1	75,9	-0,2
	110	81,4	81,2	0,2	79,6	79,8	0,3
4 (Ford Transit)	50	72,1	72,0	0,1	72,1	72,4	0,3
	80	78,9	79,1	-0,2	78,9	78,5	-0,4
	110	83,5	83,2	0,4	82,0	82,7	0,8

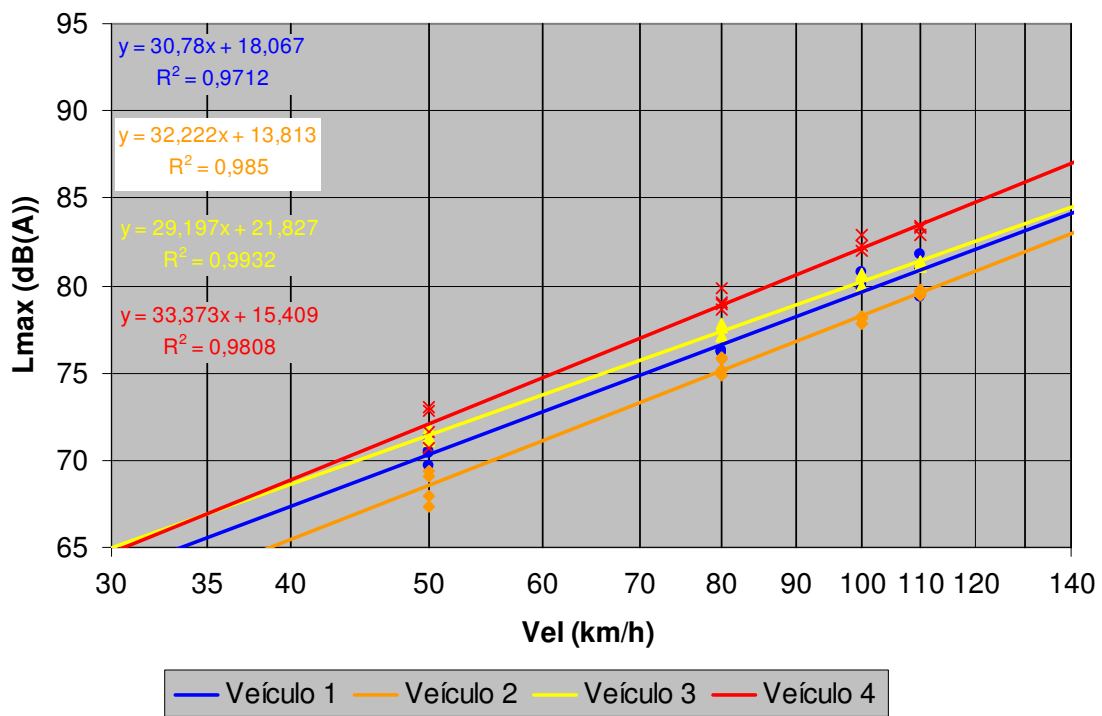


Figura 3: Resultados do ensaio CPB no trecho 1

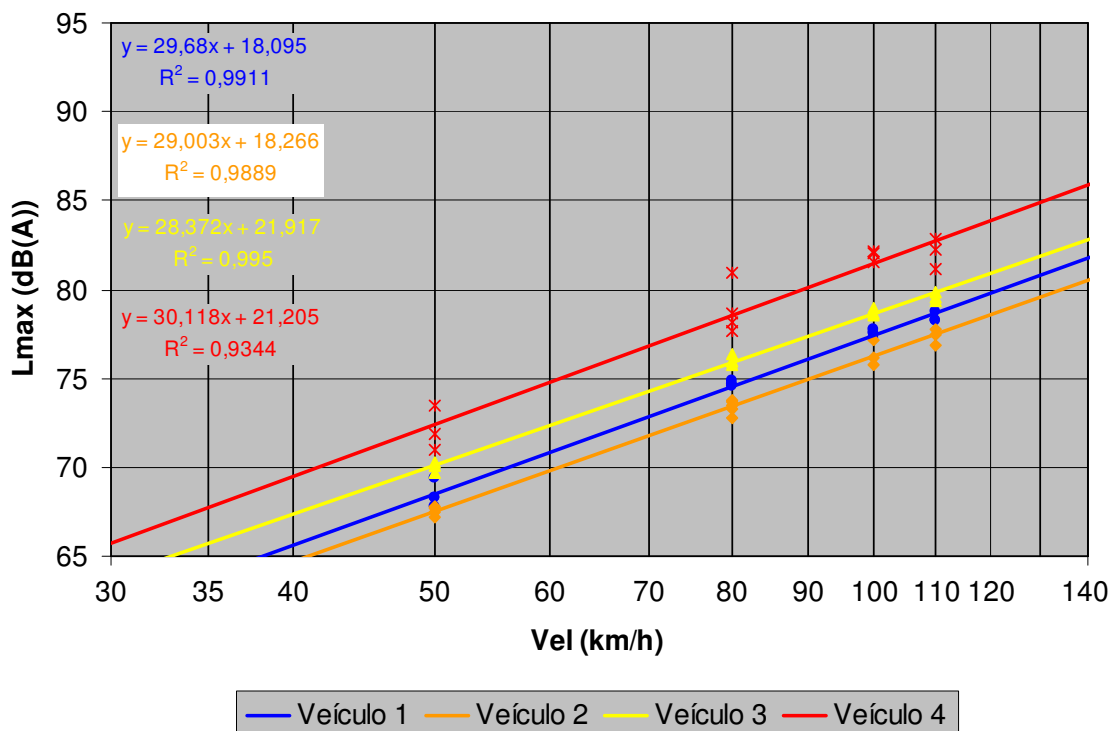


Figura 4: Resultados do ensaio CPB no trecho 2

4.3. Ensaio CPX

Os resultados das medições realizadas com o sistema CPX, compilados no Quadro 5, mostram a evolução dos níveis sonoros em campo próximo da interação pneu/pavimento devido ao deslocamento do veículo.

Quadro 5: Níveis de ruído obtidos pelo método CPX para as velocidades de referência

Veículo	Vel (km/h)	Troço 1 (BMB)		Troço 2 (BB)	
		$(L_{\max})_{\text{med}}$ (dB(A))	Desvo padrão (dB(A))	$(L_{\max})_{\text{med}}$ (dB(A))	Desvo padrão (dB(A))
1 (Mazda)	50	88	1,2	86	1,3
	80	95	1,3	92,8	1,1
	110	99,5	1,3	97,3	1,2

Os níveis de ruído aumentam de uma forma geral entre 6 a 7 dB(A) para o aumento de velocidade de 50 para 80 km/h e 4 a 5 dB(A) para o aumento de velocidade de 80 para 110 km/h. Constata-se que para a mistura BB os níveis de ruído são inferiores em cerca de 2 dB(A).

4.4 Discussão dos resultados obtidos

Os resultados obtidos para o nível sonoro obtido por qualquer um dos três métodos utilizados indicam uma tendência para maiores níveis sonoros no troço 1, relativamente ao troço 2, com diferenças da ordem de 2dB(A). Pode-se pois constatar que, embora os métodos utilizados sejam distintos, os resultados são consistentes entre si.

As camadas de desgaste dos dois troços em estudo possuíam, à partida, profundidades de textura da mesma ordem de grandeza, embora o troço 1 apresentasse uma maior variabilidade de resultados para a profundidade de textura. As misturas betuminosas aplicadas diferem entre si, não só no tipo de ligante utilizado (no caso do troço 1, foi utilizado um ligante modificado com borracha e no caso do troço 2, um betume convencional), mas também no tipo de granulometria dos agregados. Embora não tenha sido possível obter informações sobre as curvas granulométricas das misturas, era possível, através da inspecção visual das superfícies, observar que a dimensão máxima dos agregados aplicados no troço 1 era superior à do troço 2. As diferenças entre as granulometrias podem pois estar na origem das diferenças obtidas em termos de nível sonoro, tal como anteriormente referido por Freitas et al (2008).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho refere-se a um programa experimental que se encontra em desenvolvimento, que tem em vista a caracterização de camadas de desgaste aplicadas em Portugal do ponto de vista do ruído de tráfego.

Foram realizados ensaios aplicando três métodos, com vista à caracterização do ruído de tráfego em dois troços de estrada contíguos, com camadas de desgaste diferentes: o método SPB, o método CPB e o método CPX.

Os métodos CPB e CPX permitem comparar de uma forma mais directa o ruído produzido em diferentes camadas de desgaste, independentemente do tráfego que circula na estrada. De entre estes, o método CPX é o que apresenta uma maior facilidade de execução dos ensaios, e maior versatilidade em termos dos locais ensaiados. No entanto, o método SPB é aquele que mais representatividade tem relativamente às condições de serviço dos pavimentos.

Os resultados obtidos evidenciaram uma boa consistência entre os três métodos. Face às vantagens de cada um dos métodos utilizados, para o prosseguimento do estudo para a caracterização das camadas de desgaste aplicadas em Portugal procurar-se-á, sempre que possível aplicar os três métodos em simultâneo ou, em alternativa, os métodos SPB e CPX.

REFERÊNCIAS

- EN 13036-1: 2001. *Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique.*
- Freitas, E., Paulo, J., Coelho, J., Paulo, P. *Towards Noise Classification of Road Pavements.* European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra, 2008.
- Freitas, E., Pereira, P., Antunes, M.L. e Domingos, P. - *Analysis of Test Methods for Texture Depth Evaluation Applied in Portugal.* Seminário Avaliação das Características de Superfície dos Pavimentos, Guimarães, Novembro de 2008.
- ISO 11819-1: 1997. *Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method.*
- ISO 13473-1:1997. *Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth.*
- ISO CD 11819-2. *Acoustics – Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 2: The Close-Proximity Method.* ISO TC 43/SC1/WG 33, 2000.
- Sandberg, U.; Ejsmont, J.A., *Tyre / Road Noise Reference Book* 2002