

A Influência da Água no Ruído Produzido pelo Tráfego Rodoviário

Elisabete F. Freitas^{1,†}, Paulo A.A. Pereira²

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

Luís G. Picado-Santos³

*Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil
Pinhal de Marrocos, P – 3030-290 Guimarães, Portugal*

Adriana P.S. Santos⁴

*AENOR - Auto-estradas do Norte, S.A.
Freixeiro, P – 4455-586 Perafita, Portugal*

RESUMO

A qualidade ambiental preconizada na legislação europeia, no que respeita ao ruído produzido pelo tráfego rodoviário, é cada vez mais exigente. Por sua vez, a prática portuguesa no domínio da avaliação do ruído rodoviário e o conhecimento dos factores que o determinam ainda são insuficientes para satisfazer os requisitos europeus. Assim, neste artigo estuda-se a influência da presença da água no nível de ruído em dois tipos de superfícies usadas correntemente em Portugal. No estudo consideram-se dois trechos consecutivos, integrados na A41/IC24, uma com camada de desgaste em betão betuminoso drenante e a outra com camada de desgaste em betão betuminoso. A avaliação dos níveis sonoros em cada uma das secções foi realizada pelo Método Estatístico de Passagem. A análise dos resultados integra 3 abordagens, as quais se baseiam no índice estatístico de passagem, no nível de pressão sonora dos veículos de ensaio e no espectro de ruído. Verificou-se que o nível de ruído aumenta significativamente com a presença da água. Esse aumento é determinado pelos níveis de pressão sonora correspondentes a frequências superiores a 500 Hz, quando se trata de veículos pesados. No caso dos veículos ligeiros esse aumento é mais significativo a frequências superiores a 1000 Hz, particularmente na camada em betão betuminoso.

¹ Professora Auxiliar

[†] efreitas@civil.uminho.pt

² Professor Catedrático

³ Professor Associado com Agregação

⁴ Engenheira Civil

INTRODUÇÃO

Cerca de 90% da população europeia está exposta ao ruído produzido pelo tráfego rodoviário. Como consequências dessa exposição podem ocorrer efeitos na saúde, como por exemplo, perturbações no sono, interferências na comunicação e no desempenho intelectual, assim como, incomodidade.

A União Europeia está consciente deste problema e no sentido de reduzir os níveis de ruído tem, progressivamente, desenvolvido e publicado vários documentos normativos.

Na Europa, os métodos correntes para a limitação do ruído rodoviário incluem a construção de barreiras acústicas, o controlo do tráfego (com a limitação da velocidade), a alteração do traçado vertical e horizontal, a definição de zonas protegidas.

Um método inovador de limitação do ruído é a construção de “pavimentos silenciosos” (Camomilla et al., 2004). Os pavimentos silenciosos surgem da necessidade de redução do ruído que resulta do contacto entre o pneu e o pavimento, uma vez que o estado actual da técnica não permite uma redução significativa do ruído produzido pelo motor e pelo sistema de exaustão dos veículos.

As camadas de desgaste porosas e, mais recentemente, a camada superficial “twinlay”, típica da Holanda, têm sido recorrentemente usadas como uma medida de redução do ruído (Hofman et al., 2003).

Uma redução aceitável do ruído pode também ser obtida através da utilização de camadas delgadas, como a “Poroelastic Surface” (Fujiwara et al., 2005), concebidas através do controlo da textura e dos vazios e da introdução de novos materiais como a borracha, e de novos conceitos de pavimento como o “Ecotechic Pavement” e o “Euphonic Pavement” (Camomilla et al., 2004).

Embora os “pavimentos silenciosos” mais recentes pareçam muito eficazes, estes ainda não são construídos correntemente (Camomilla et al., 2004), tendo-se optado pelas camadas de desgaste porosas, as quais permitem simultaneamente aumentar as condições de visibilidade na presença de precipitação e reduzir o ruído de circulação do tráfego.

Relativamente às camadas tradicionais, as camadas porosas proporcionam uma redução do ruído geralmente compreendida entre 3 e 5 dB(A), por vezes superior em condições particulares (Baugham et al., 2002).

A eficácia das camadas “silenciosas”, especialmente as camadas drenantes, pode ficar comprometida na presença de água, uma vez que esta pode aumentar significativamente os níveis de ruído (Descornet et al., 2000). Apesar disso, ainda não se conhece adequadamente de que forma a presença da água influencia os mecanismos de ruído. Como consequência, nas regiões onde o número de dias de chuva por ano é significativo, as políticas de selecção de camadas superficiais, quer em pavimentos novos, quer em pavimentos reabilitados, podem sofrer alterações.

Assim, neste artigo estuda-se a influência da água no ruído produzido pelo tráfego rodoviário, em dois tipos de camadas superficiais de uso corrente em Portugal, uma em betão betuminoso “clássico” e outra em betão betuminoso drenante.

1. MECANISMOS DE PRODUÇÃO DE RUÍDO

O ruído produzido pelos veículos tem 3 origens distintas: o ruído resultante da configuração aerodinâmica dos veículos; o ruído resultante do motor e do sistema de exaustão; o ruído resultante da interacção pneu-pavimento. Esta última predomina a velocidades superiores a 50 km/h, tendo por esta razão uma maior importância fora das localidades (Sandberg et al., 2002).

Os mecanismos de geração de ruído associados à interação pneu/pavimento referem-se às vibrações, resultantes do impacto dos pneus na superfície e da aderência, e ao deslocamento de ar que envolve o pneu (Sandberg et al., 2002). Estes são amplificados devido ao efeito de “horn” e podem ser amplificados ou atenuados em função da impedância acústica e mecânica da superfície e da ressonância dos pneus.

Os mecanismos referidos são influenciados pelo comportamento dos condutores (através do controlo da velocidade e da pressão dos pneus), pelas características dos pneus (estrutura, dimensão, rigidez da borracha, relevo, desgaste e idade), pelas características da superfície do pavimento (macro e megatextura, cor, irregularidade, porosidade, rigidez, idade, desgaste e presença de água) e pelo clima (temperatura e vento).

A presença de água na superfície dos pavimentos, em função da sua quantidade, do tipo de superfície, do tipo de veículo, das condições de circulação, entre outros factores, pode aumentar o nível de ruído emitido pelos veículos até 15 dB(A) (Descornet et al., 2000). Este aumento parece ser determinado pelas frequências altas, como se pode constatar em (Sandberg et al., 2002).

Os mecanismos de geração de ruído em condições molhadas são basicamente os mesmos que em condições secas, embora ainda não se conheça exactamente de que forma a presença de água contribui para o aumento do ruído (Sandberg et al., 2002). No entanto, podem referir-se os seguintes mecanismos de ruído em condições molhadas:

- deslocamento de água na frente da área de contacto (projecção de água);
- compressão de água nas ranhuras dos pneus e consequente projecção;
- contacto entre a água projectada (em forma de jacto ou de gotas) e o corpo do veículo;
- impacto do relevo dos pneus na superfície da água;
- quebra de ligação entre a borracha dos pneus e a água.

2. METODOLOGIA DE ENSAIO

Para a avaliação do ruído do tráfego adoptou-se a norma ISO 11819-1:1997(E) “*Acoustics – measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: statistical pass-by method*” (ISO 11819-1, 1997). Esta norma preconiza a medição do nível sonoro máximo de um número estatisticamente significativo de passagens individuais de 3 categorias de veículos, a determinadas velocidades, em dois tipos de superfícies.

Para a realização do estudo foram considerados dois trechos na auto-estrada A41-IC24 (km 8+800). A estrutura dos trechos é semelhante, diferindo apenas o tipo de camada de desgaste: uma em betão betuminoso drenante e outra em betão betuminoso “clássico”. Na Figura 1 apresenta-se a geometria dos trechos referidos, com a indicação da localização do equipamento de medição do ruído, definida de acordo com a norma adoptada (ISO 11819-1, 1997).

3. CONDIÇÕES DE ENSAIO

A norma em que o estudo se baseia preconiza a medição do ruído em pavimentos que se encontrem ao serviço. No entanto, como os trechos de estudo se inserem numa estrada ainda em fase de construção, foi possível controlar o efeito de alguns factores que determinam o nível de ruído. Este controlo é proporcionado pela possibilidade de selecção dos veículos de ensaio (2 pesados e 4 ligeiros) e pela repetição da sua passagem em cada uma das secções.

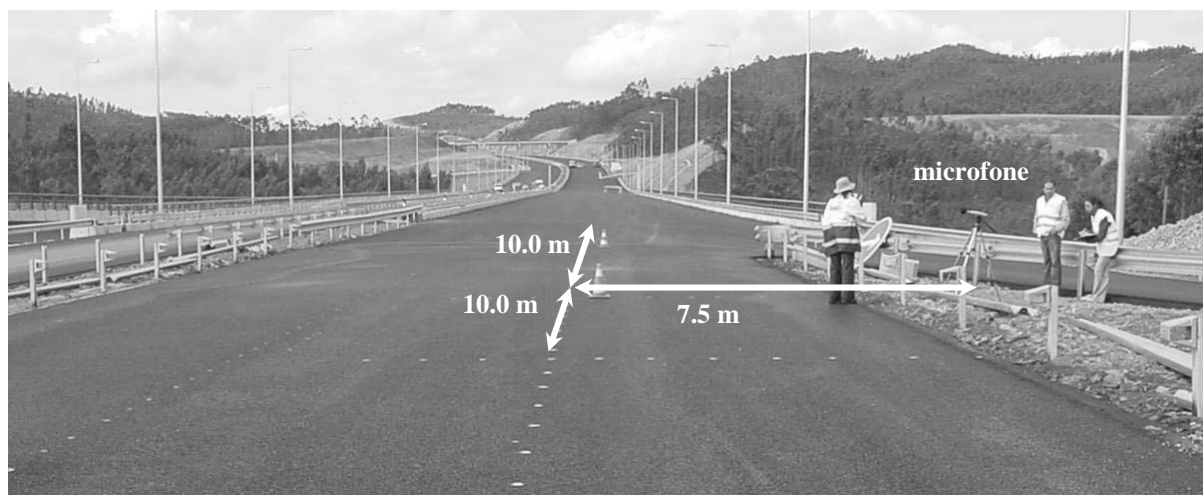


Figura 1 – Esquema de localização do microfone

Como exemplo desses factores pode referir-se o tipo e o desgaste dos pneus, a forma do veículo (efeito aerodinâmico), o ruído produzido pelo motor, a carga dos veículos pesados e o estado hídrico das superfícies de ensaio.

A condição de superfície molhada foi simulada através da utilização de um camião cisterna. Para evitar uma possível reflexão do ruído, as guardas de segurança foram retiradas.

A seguir descreve-se as condições de realização dos ensaios no que respeita à superfície do pavimento, aos veículos e ao clima.

3.1. Caracterização da superfície do pavimento

As propriedades físicas das misturas betuminosas e as características das superfícies das camadas determinam o ruído (Domenichini, 1999), sendo, por esta razão, fundamental conhecer-se esta informação.

Na Figura 2 mostra-se o aspecto das duas superfícies estudadas e no Quadro 1 apresentam-se as principais propriedades e características das camadas.

A profundidade da textura e a resistência ao deslizamento foram medidas em 3 pontos pertencentes a secções transversais afastadas entre si de 12,5 m.

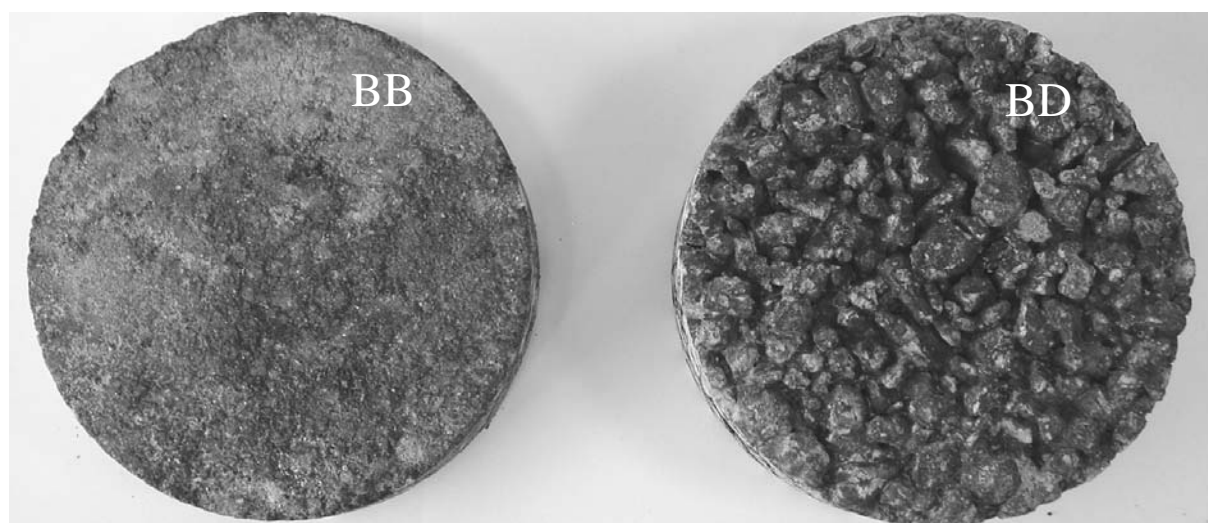


Figura – 2 Aspecto das superfícies (BB – betão betuminoso “clássico”, BD – betão betuminoso drenante)

Quadro 1 – Características das camadas superficiais

Característica	Betão betuminoso drenante	Betão betuminoso
Dimensão máxima dos inertes	15 mm	16 mm
Teor em betume	4,5 %	5,1 %
Profundidade da textura	1,2 – 1,6 mm	0,7 – 1,0 mm
Atrito (Pêndulo Britânico)	0,65 – 0,80 BPN	0,65 – 0,70 BPN

3.2. Caracterização dos veículos e velocidade de ensaio

Para a realização dos ensaios foram seleccionados 6 veículos, agrupados de acordo com as categorias preconizadas na norma adoptada (Figura 3):

- ligeiros (1 Nissan Terrano, 1 Citroen XSara, 1 Volvo S40, 1 Renault Traffic);
- pesados de 2 eixos (1 Mercedes);
- pesados multi-eixos (1 Scania).



Figura 3 – Veículos de ensaio

A velocidade de ensaio foi estabelecida em função da categoria da estrada e dos respectivos limites legais para cada tipo de veículo e dos 3 níveis preconizados na norma adoptada:

- velocidade baixa – entre 45 km/h e 64 km/h, para tráfego urbano;
- velocidade média – entre 65 km/h e 99 km/h, para tráfego suburbano e zonas rurais;
- velocidade alta – superior a 100 km/h, para auto-estradas.

Para os veículos pesados considerou-se o limite máximo de 90 km/h e o nível de velocidade média. Para os veículos ligeiros considerou-se o limite máximo de 120 km/h e os níveis de velocidade média e alta.

3.3. Caracterização das condições climáticas

Os factores climáticos que influenciam o ruído rodoviário, cujos efeitos devem ser considerados na sua avaliação, são 3: a temperatura do pavimento, a velocidade do vento e a quantidade de água presente na superfície de rolamento.

De uma forma geral, um aumento de temperatura ou uma redução da velocidade do vento traduz-se numa redução do nível de ruído. Em função do local onde são efectuadas as medições da temperatura (ar, pneu, superfície do pavimento), a correcção a fazer-se ao nível de ruído é variável. A Directiva Europeia 2001/43/EC recomenda a correcção do nível de ruído obtido para os veículos ligeiros, tomando como referência uma temperatura da superfície de 20°C. De acordo com esta directiva, neste estudo a variação máxima do nível de ruído é aproximadamente de -0.5 dB(A), não tendo sido considerada.

A velocidade do vento influencia fortemente o ruído aerodinâmico a velocidades superiores a 120 km/h para os veículos ligeiros e a 90 km/h para os veículos pesados. Como a velocidade de ensaio foi, de uma forma geral, inferior a estes limites e a velocidade do vento se compreendeu entre 1 m/s e 4 m/s, não foram efectuadas correcções relativas ao vento.

A água, de uma forma geral, aumenta o nível de ruído, embora quando se analisa o espectro de ruído pareça haver uma redução a baixas e médias frequências. Esta redução tem uma importância mais significativa para os veículos pesados (Descornet, 2000). Por sua vez a frequências altas parece haver um aumento significativo (Sandberg et al., 2002).

Uma vez que o efeito da água nos mecanismos de produção do ruído ainda não foi estudado convenientemente, apresenta-se a seguir a sua análise para as condições ensaio consideradas neste estudo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos são abordados de 3 formas diferentes. Uma abordagem global, através do índice estatístico de passagem, de maior interesse para a gestão de pavimentos. Outra, através dos níveis sonoros dos veículos, que poderá ter consequências nos limites de velocidade, em particular em zonas urbanas, face a diferentes condições climáticas. A última abordagem, através do espectro de frequências, permitirá ao nível da concepção, da selecção dos materiais e das técnicas de construção identificar possíveis melhorias e definir modos de actuação com vista a uma redução efectiva do ruído rodoviário.

4.1. Índice estatístico de passagem

O desempenho acústico de uma superfície pode ser determinado através do índice SPBI (*Statistical Pass-By Index*) (Equação 1). Este índice calcula-se a partir dos níveis sonoros de cada categoria de veículos, da velocidade de referência e de um factor de ponderação, de acordo com o Quadro 2.

Por sua vez, o nível sonoro de cada categoria de veículo (L_{veh}) calcula-se a partir da recta de regressão do nível sonoro máximo versus logaritmo da velocidade, para a velocidade de referência (V_{Ref}) correspondente a cada nível de velocidade.

O efeito da presença de água é determinado comparando os índices obtidos desta forma para cada tipo de superfície, drenante (D) e convencional (C), com (Mo) e sem (S) a presença de água (Quadro 3).

$$SPBI = 10 \log \left[W_1 \times 10^{L_1 / 10} + W_{2a} (V_1 / V_{2a}) \times 10^{L_{2a} / 10} + W_{2b} (V_1 / V_{2b}) \times 10^{L_{2b} / 10} \right] \quad (1)$$

em que:

- SPBI = índice estatístico de passagem (*Statistical Pass-By Index*);
- L_1, L_{2a}, L_{2b} = nível sonoro dos veículos (L_{veh}) ligeiros, pesados de 2 eixos e pesados multi-eixos, respectivamente;
- W_1, W_{2a}, W_{2b} = factores de ponderação (Quadro 2);
- V_1, V_{2a}, V_{2b} = velocidade de referência (Quadro 2).

Quadro 2 – Velocidades de referência (Vref) e factores de ponderação (Wx)

Categoria do veículo	Nível de velocidade do veículo					
	Baixa		Média		Alta	
	Vref (km/h)	Wx	Vref (km/h)	Wx	Vref (km/h)	Wx
Ligeiro	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Pesado de 2 eixos	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Pesado multi-eixos	50	0,025	70	0,100	85	0,225

Quadro 3 – Índice estatístico de passagem (SPBI)

Nível de velocidade	SPBI (dB(A))					
	Mo-D	Mo-C	S-D	S-C	Diferença D	Diferença C
Média	80,2	83,1	76,1	78,9	4	4
Alta	82,6	86,5	78,4	81,5	4	5

Legenda: Mo – superfície molhada; S – superfície seca; D – superfície drenante; C – superfície em betão betuminoso clássico.

Verifica-se que na presença de água o ruído aumenta cerca de 4 dB(A), excepto na superfície convencional a velocidades altas, onde se verifica um aumento de 5 dB(A).

No entanto, como estes resultados foram obtidos antes da entrada do pavimento ao serviço, é possível verificar-se a sua alteração ao longo do tempo.

4.2. Nível de pressão sonora versus velocidade

Na Figura 4 apresenta-se, para cada categoria de veículos, os níveis de pressão sonora em função da velocidade de ensaio. O nível de pressão sonora é claramente superior para ambas as superfícies na condição molhada, aumentando com a velocidade.

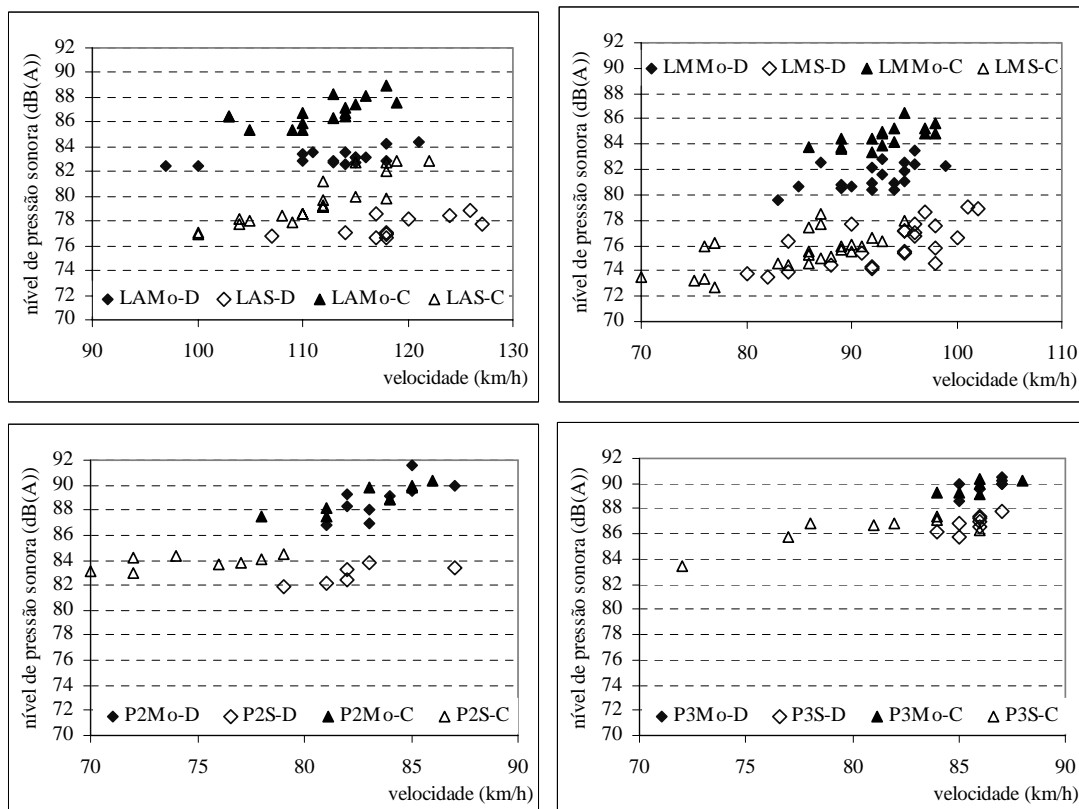


Figura 4 – Níveis sonoros para as 3 categorias de veículos

A partir da análise da Figura 4 verifica-se que este aumento depende, não só da velocidade, como também da categoria de veículo. Para os veículos ligeiros, verifica-se que a diferença se aproxima dos 8 dB(A) para os dois tipos de camadas, enquanto que para os veículos pesados de 2 e de 3 eixos esta é de cerca de 6 e de 4 dB(A), respectivamente.

Para a categoria de veículos ligeiros pode hierarquizar-se o nível de ruído em função do estado hídrico e do tipo de superfície. Assim, quer para o nível de velocidade alta quer para o nível de velocidade média, o nível máximo de ruído aumenta na seguinte ordem: 1) superfície drenante seca; 2) superfície clássica seca; 3) superfície drenante molhada; 4) superfície clássica molhada.

O mesmo já não se passa para as duas categorias de veículos pesados. Neste caso, os níveis de ruído são muito próximos para os dois tipos de superfícies e em particular em condições molhadas.

Quanto à diferença dos níveis sonoros máximos entre veículos ligeiros e veículos pesados, esta é cerca de 10 dB(A) para velocidades próximas dos 75 km/h e cerca de 6 dB(A) para velocidades próximas dos 85 km/h.

4.3. Nível de pressão sonora versus frequência

A análise do ruído produzido pelo tráfego rodoviário através do espectro sonoro proporciona uma informação mais detalhada do que os métodos analisados anteriormente.

Nas Figuras 5 e 6 apresentam-se os espectros sonoros em bandas de 1/3 de oitava para a camada em betão betuminoso “convencional” e em betão betuminoso drenante, respectivamente.

Para os dois tipos de camadas e em condição de superfície seca, o espectro sonoro apresenta 2 tramos aproximadamente rectos. O primeiro ascendente com um máximo para as frequências compreendidas entre 800 e 1000 Hz e o segundo descendente até à frequência de 10000 Hz, no caso dos veículos ligeiros. No caso dos veículos pesados o máximo ocorre para a frequência de 500 Hz.

Nestas condições o desenvolvimento dos espectros sonoros é semelhante ao analisado por outros autores (Olms et al., 1999; Anfosso-Lédée et al., 2003) e apresenta algumas diferenças a baixas frequências relativamente ao espectro considerado típico por Sandberg et al. (2002).

Para a condição de superfície molhada, o segundo tramo deixa de apresentar um desenvolvimento linear, mantendo-se muito próximo do valor máximo. Este comportamento explica a diferença do nível de pressão sonora encontrada para os veículos pesados (Figura 4), uma vez que a parte linear do espectro sonoro e o correspondente valor máximo de pressão sonora são aproximadamente iguais nas duas superfícies, quer secas, quer molhadas.

Quanto aos veículos ligeiros, o nível de pressão sonora (Figura 4) é determinado pelos 2 tramos do espectro sonoro, sendo a influência do tramo não linear mais significativa no caso da superfície em betão betuminoso “convencional”.

No caso da superfície em betão betuminoso drenante, verifica-se que a inclinação da parte não linear é superior, contribuindo desta forma menos para o ruído. Verifica-se ainda que a dispersão dos resultados a frequências altas é superior. Essa variabilidade pode ser explicada pela alteração da capacidade de absorção do ruído devido à presença da água (Anfosso-Lédée et al., 2003).

Os picos que ocorrem a frequências baixas, com maior expressão nos veículos pesados, podem dever-se às vibrações dos pneus resultantes do impacto do seu relevo na superfície.

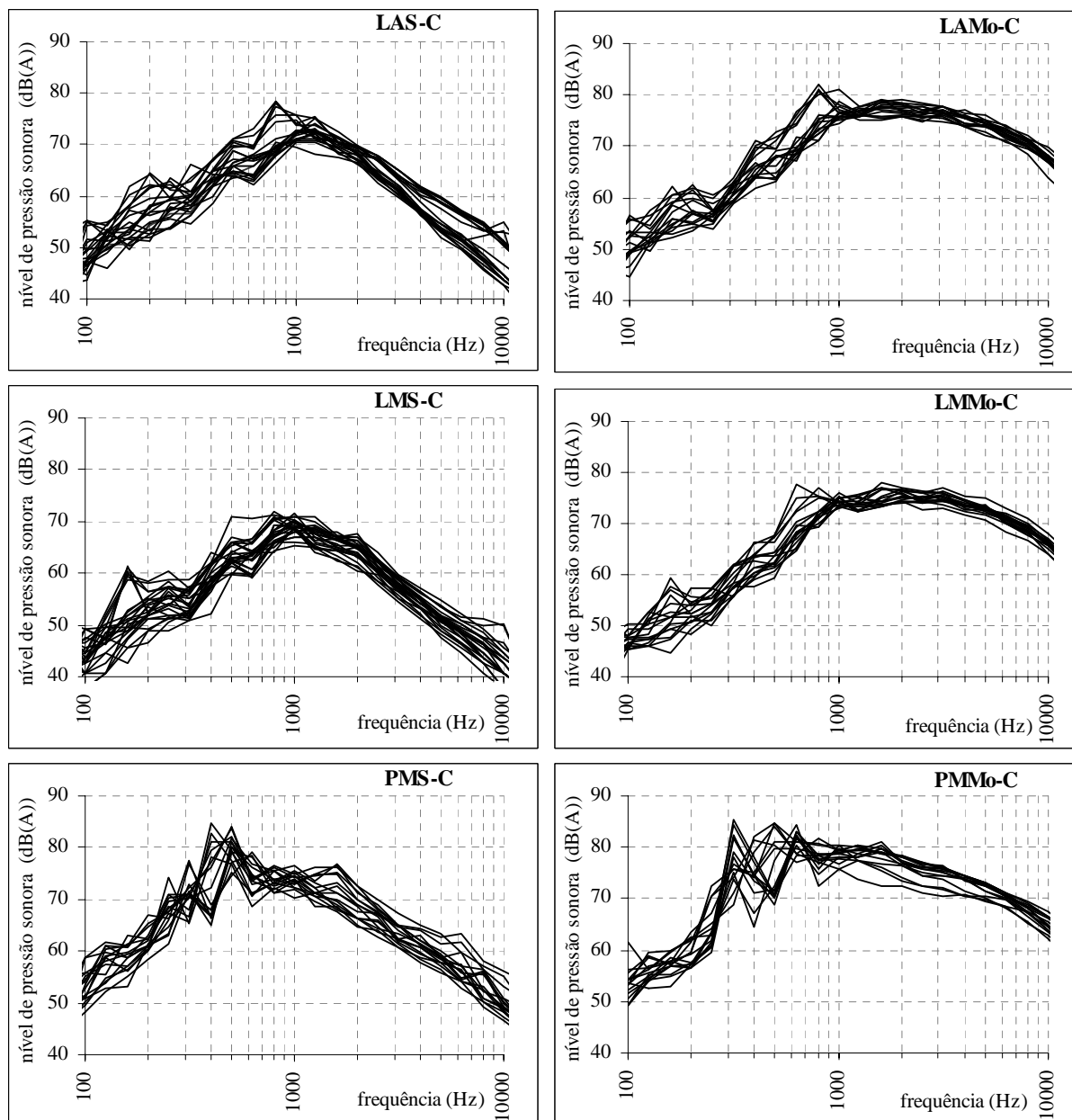


Figura 5 – Nível de pressão sonora versus frequência para a superfície convencional

5. CONCLUSÕES

Na Europa as soluções para a redução do ruído, em especial com origem no contacto entre o pneu e o pavimento, têm sofrido um grande desenvolvimento. Apesar disso, subsistem ainda algumas questões relativas a soluções de uso corrente.

Neste artigo analisou-se o efeito da água na produção do ruído em dois tipos de camadas superficiais, uma em betão betuminoso “convencional” e outra em betão betuminoso drenante. Nesta análise foram feitas 3 abordagens que proporcionaram 3 níveis de detalhe na informação obtida.

Na primeira abordagem, baseada no índice estatístico de passagem (SPBI), verificou-se que o ruído aumentou 4 dB(A) para a camada drenante. Para a superfície convencional aumentou 4 dB(A) nas medições realizadas com veículos ligeiros e 5 dB(A) nas medições realizadas com os veículos pesados.

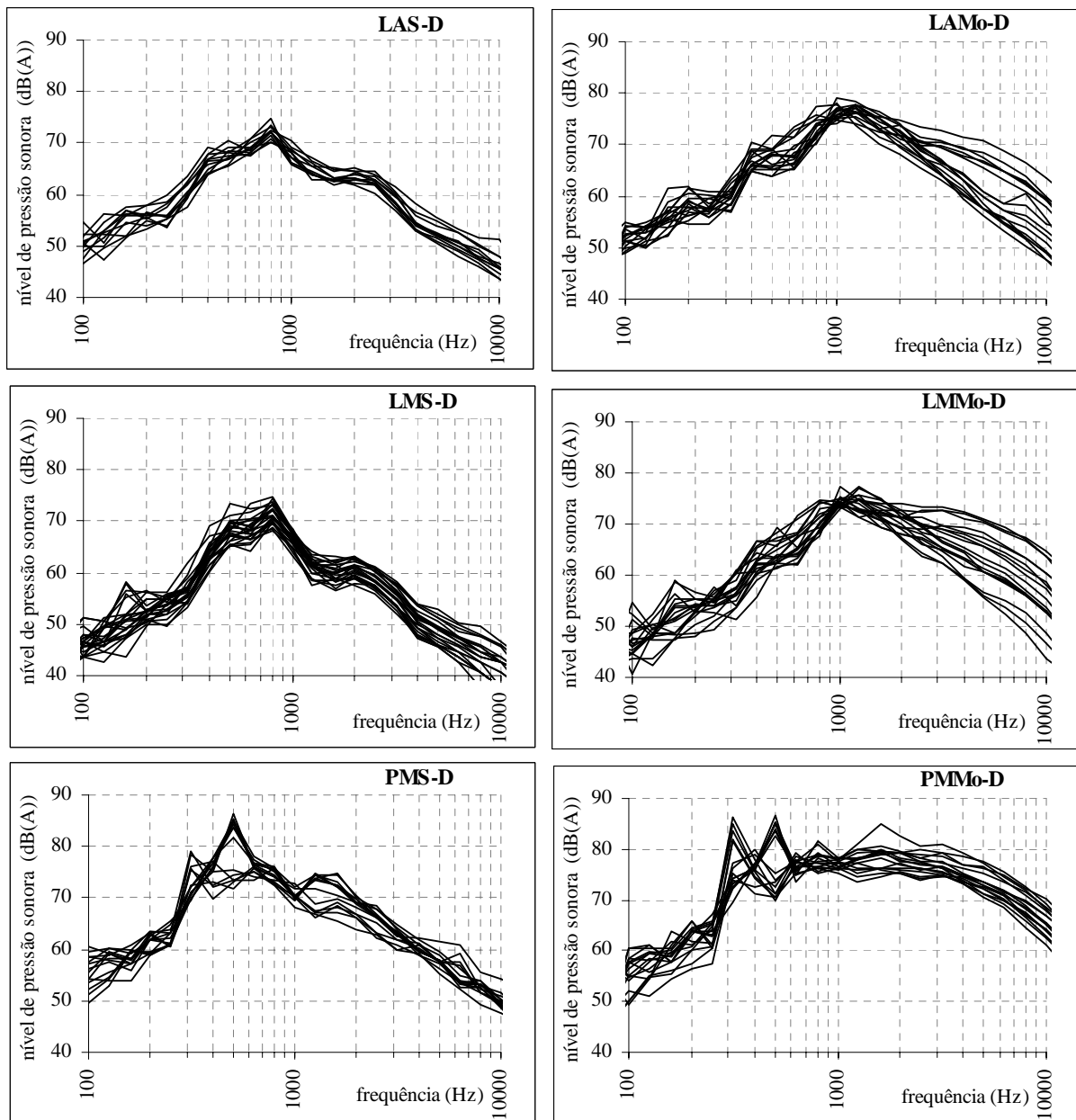


Figura 6 – Nível de pressão sonora versus frequência para de superfície drenante

Apesar de as diferenças serem muito próximas, a superfície drenante apresenta valores do índice estatístico de passagem inferiores ao da superfície tradicional de 3 a 4 dB(A).

Na segunda abordagem considerou-se o nível de pressão sonora máximo obtido para cada veículo de ensaio, tendo-se verificado que: i) o nível de pressão sonora é superior para ambas as superfícies na condição molhada, aumentando com a velocidade em função da categoria de veículo; ii) os veículos ligeiros apresentam um aumento que se aproxima dos 8 dB(A) para os dois tipos de camadas; iii) os veículos pesados de 2 e de 3 eixos apresentam um aumento de cerca de 6 e de 4 dB(A), respectivamente; iv) a diferença dos níveis de pressão sonora entre veículos ligeiros e veículos pesados é de cerca de 10 dB(A) para velocidades próximas dos 75 km/h e cerca de 6 dB(A) para velocidades próximas dos 85 km/h.

A terceira abordagem, baseada na análise do espectro sonoro, mostra que níveis de pressão sonora na condição de superfície molhada correspondentes às frequências superiores a 500 Hz determinam o ruído no caso dos veículos pesados. No caso dos veículos ligeiros o

nível de pressão sonora aumenta ao longo de todo o espectro, sendo esse aumento mais significativo a frequências superiores a 1000 Hz, especialmente na superfície “convencional”.

Futuras contribuições neste domínio devem integrar métodos de medição do ruído pneu-pavimento em contínuo, assim como de outras propriedades acústicas da superfície habitualmente não observadas, como por exemplo a absorção sonora. Além disso, as medições de ruído deverão ser acompanhadas de uma análise espectral da textura.

Através destes procedimentos será possível estabelecer, com confiança, as causas do aumento do ruído na presença de água e definir medidas que visem a redução do seu efeito.

REFERÊNCIAS

Anfosso-Lédée, F., Bérengier, M. et Boze, D., L'évaluation Expérimentale des Performances Acoustiques des Revêtements de Chaussée: où en est-on?, *magazine Acoustique & Techniques*, numero 32, 11-17 (2003).

Baugham, C., Chinn, L., Harris, G., Stait, R. and Philips, S., Resurfacing a Motorway with Porous Asphalt: Effects on Rural Noise Exposure and Community Response, *TRL Report*, TRL 536 (2002).

Camomilla, G. and Luminari, M., Silent Road for Urban and Extra-Urban Use: the Innovative resilient and resonant pavements, proceedings of the 5th symposium on pavement surface characteristics - roads and airports, CD-Rom, World Road Association, Toronto, Canada (2004).

Descornet, G., Faure, B., Hamet, J., Kestemont, X., Luminari, M., Quaresma, L. and Sandulli D., Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art, *Report for SIRUUS project*, Belgian Road Research Centre, Brussels (2000).

Descornet, G., Wet Road Influence on Vehicle Noise, *Proceedings of Internoise 2000*, Nice, France (2000).

Domenichini, L., Fracassa, A., La Torre, F., Loprencipe, G., Ranzo, A. and Scalamandrè, A., Relationship Between Road Surface Characteristics and Noise Emission, *Proceedings of the 1st International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction*, Rome, Italy (1999).

FHWA-PL-05-011, Quiet Pavement Systems in Europe, *Report*, Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation (2005).

Sandberg, U. and Ejsmont, J., Tyre/Road Noise Reference Book, Informex, SE-59040 Kisa, Sweden (2002).

Fujiwara, T., Meiarashi, S., Namikawa, Y., and Hasebe M., Noise Reduction Effect of Porous Elastic Road Surface and Drainage Asphalt Pavement, *Proceedings of the 84th Transportation Research Board Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington (2005).

Hofman, R. and Kooij, J., Results from the Dutch Noise Innovation Program Road Traffic (IPG) and Roads to the Future Program (WnT), *Proceedings of Internoise 2003*, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Korea (2003).

ISO 11819-1:1997(E), “Acoustics – measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: statistical pass-by method”, standard, *International Organization for Standardization (ISO)*, Geneva, Switzerland (1997).

Olms, H. and Breuer, B., MARGA – A New Tool for Tyre/Road-Noise Analysis, *Proceedings of the 1st International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction*, Rome, Italy (1999).