

# Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído

Elisabete F. Freitas<sup>1,†</sup>

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

## RESUMO

O ruído rodoviário constitui actualmente um problema grave de qualidade ambiental, que resulta essencialmente dos mecanismos de contacto entre o pneu e a superfície do pavimento. Por conseguinte, a avaliação em termos acústicos das superfícies da rede rodoviária é importante. Assim, neste artigo estuda-se a contribuição de um conjunto de 7 superfícies de pavimentos em serviço para a produção de ruído rodoviário: 1 em betão betuminoso denso; 1 em betão betuminoso rugoso, 2 em microbetão betuminoso rugoso; 1 em betuminoso rugoso com betume modificado com borracha e 2 misturas abertas com betume modificado com borracha. A metodologia de ensaio baseou-se no Método Estatístico de Passagem. Para o estudo foram seleccionados 2 veículos ligeiros e um pesado de 2 eixos, os quais fizeram um total de 188 passagens a 3 níveis de velocidade. A cada passagem registou-se o nível de ruído máximo, a velocidade efectiva dos veículos, a velocidade do vento e a temperatura do ar e da superfície do pavimento. Desta avaliação resulta que, relativamente ao betão betuminoso denso, as superfícies mais silenciosas são as de microbetão betuminoso rugoso e de mistura aberta com betume modificado com borracha, apresentando reduções entre os 4 e os 8 dB(A).

## INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de ruído resultante do tráfego rodoviário, principalmente nos aglomerados populacionais, levou ao desenvolvimento de acções de avaliação e correcção, por parte de várias administrações rodoviárias no sentido de os reduzir, para se obter um maior conforto e, por consequência, uma melhor qualidade ambiental.

O ruído de tráfego resulta da acumulação das emissões de ruído de todos os veículos. Por sua vez, cada veículo tem várias fontes de ruído, cuja soma corresponde ao ruído total desse veículo. As principais fontes de ruído resultam do funcionamento do motor, do sistema de exaustão e da interacção pneu/pavimento. As primeiras influenciam o ruído principalmente a baixas velocidades, enquanto que para velocidades acima dos 40 a 50 km/h o ruído da interacção pneu/pavimento é predominante (Bendtsen et al., 2005; Sans 2006).

O conhecimento dos mecanismos de geração de ruído, particularmente os relacionados com a interacção pneu/pavimento, é fundamental para apoiar a formulação de misturas betuminosas com propriedades acústicas apropriadas. As propriedades acústicas dessas misturas são determinadas principalmente pelas características da textura superficial e pela

---

<sup>1</sup> Professora Auxiliar

<sup>†</sup> [efreitas@civil.uminho.pt](mailto:efreitas@civil.uminho.pt)

porosidade da camada. Essas propriedades podem ser avaliadas por vários métodos. No entanto, a avaliação do ruído pneu-pavimento em diferentes superfícies de pavimentos é feita geralmente através do método Estatístico de Passagem (ISO 11819-1:1997) ou do método da Estrita Proximidade (ISO/CD 11819-2:1997). Destes métodos, o mais utilizado é o método Estatístico de Passagem.

Com base nestes métodos é possível determinar se uma dada camada pode ser considerada silenciosa. Uma camada pode ser considerada silenciosa quando o nível de ruído resultante da interação pneu-pavimento reduz pelo menos 3 dB(A) comparativamente a outra tomada como referência e de utilização corrente (Sandberg et al., 2002). De uma forma geral, as camadas betuminosas mais ruidosas são as de betão betuminoso denso e as designadas na terminologia anglo-saxónica por “stone mastic asphalt”, com um tamanho máximo do agregado entre 11 e 16 mm. Por sua vez, as camadas consideradas silenciosas mais comuns são as de betão betuminoso poroso, de camada simples e de dupla camada, e as constituídas por misturas abertas de granulometria descontínua (designadas por camadas delgadas (Anderson et al., 2006; Descornet et al., 2006; Bartolomaeus, 2006). Do grupo das camadas silenciosas, as primeiras são muito utilizadas nos países nórdicos, enquanto que as segundas são muito utilizadas em França (Bendtsen et al., 2006). Nos últimos anos, em Portugal e nas vias de elevada velocidade, as administrações rodoviárias têm dado preferência às camadas porosas. Recentemente, também têm sido construídas camadas de desgaste que incorporam borracha reciclada de pneus para este fim (Ruivo, 2004; Gomes et al., 2006)

Assim, a construção e o desenvolvimento de camadas silenciosas constitui uma medida mitigadora do ruído, porém existem outras como, por exemplo, o planeamento do tráfego rodoviário, a criação de sinalização específica de limitação da velocidade em função do nível de ruído, o desenvolvimento de tecnologia relativa aos veículos, nomeadamente o desenvolvimento de novos materiais para os pneus, e a construção de barreiras acústicas.

Neste artigo, para além da apresentação sucinta dos principais mecanismos de geração de ruído pneu-pavimento, dos principais factores que o influenciam e das principais medidas de mitigação do ruído, apresenta-se um caso de estudo com o objectivo de avaliar a contribuição para o ruído rodoviário de diferentes camadas de desgaste, com base no método Estatístico de Passagem.

## 1. MECANISMOS DE GERAÇÃO DE RUÍDO PNEU-PAVIMENTO

Os mecanismos de geração de ruído associados à interação pneu-pavimento são as vibrações radiais e tangenciais, resultantes do impacto da escultura do pneu na superfície e da aderência à superfície do pavimento e o deslocamento de ar nos sulcos do piso do pneu e que envolve o pneu (Sandberg et al., 2002). Estes mecanismos são amplificados devido ao efeito de pavilhão e podem ser amplificados ou atenuados em função da impedância acústica e mecânica da superfície e da ressonância do pneu.

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

Entre estes factores, destaca-se a textura e a porosidade, por estarem relacionados directamente com o pavimento, e a presença de água na superfície por interferir no efeito produzido pelos outros factores. A textura é determinada pela combinação granulometria-porosidade e pode ser descrita de forma simplificada por dois parâmetros: a Profundidade Média da Textura (PMT) e a Profundidade Média do Perfil (PMP). A PMT avalia-se através da realização do ensaio da mancha de areia, sendo por isso uma medida pontual, enquanto que

a PMP é medida a velocidade elevada ao longo de uma dada extensão do pavimento através de um perfilómetro a laser (ISO 13473-1:1997). Para o estudo do ruído, a avaliação da textura através destes parâmetros é insuficiente, pelo que é importante recorrer a uma descrição mais detalhada, em função dos comprimentos de onda e das amplitudes que restituem o perfil da superfície. De acordo com a Associação Mundial de Estradas (AIPCR, 2003), a textura é composta pelas seguintes componentes:

- microtextura - compreende comprimentos de onda de 1  $\mu\text{m}$  a 0,5 mm e amplitudes entre 0,001 mm e 0,5 mm; influencia directamente o atrito;
- macrotextura - compreende comprimentos de onda de 0,5 mm a 50 mm e amplitudes entre 0,1 mm e 20,0 mm; depende essencialmente da forma e proximidade dos agregados e influencia a drenagem da superfície do pavimento e o ruído pneu-pavimento;
- megatextura - compreende comprimentos de onda de 50 mm a 500 mm e amplitudes entre 0,1 mm e 50,0 mm; condiciona a comodidade, estabilidade da condução, cargas dinâmicas, desgaste dos veículos e o ruído pneu-pavimento.

Uma profundidade de textura elevada nas gamas da macrotextura e megatextura influencia a emissão de ruído a baixas frequências (< 1000 Hz) e origina ruído devido às vibrações do pneu. Uma profundidade de textura reduzida na gama da macrotextura influencia a emissão de ruído nas altas frequências (> 1000 Hz), promovendo o bombeamento de ar nos sulcos da escultura do piso do pneu (Andrea et al., 1999).

A porosidade permite não só a drenagem da água do pavimento como também do ar que preenche as ranhuras do pneu. Deste modo, uma superfície porosa proporciona uma melhor absorção sonora, que se traduz na redução da reflexão acústica do pavimento e na atenuação da propagação das ondas na superfície deste. A porosidade reduz o efeito de pavilhão que ocorre entre a superfície do pavimento e a parte do piso do pneu que não está em contacto com o mesmo. Para que estes efeitos sejam eficazes, a porosidade deve ser superior a 20% (SILVIA, 2006).

A água na superfície dos pavimentos ocupa o espaço resultante da irregularidade da superfície das camadas com misturas densas e abertas, principalmente o correspondente à macrotextura, e os poros dos pavimentos drenantes, tendo como consequência o aumento das vibrações e do bombeamento de ar. A água pode conduzir a um aumento de ruído até 15 dB(A). Nas camadas densas e porosas usadas em Portugal, verificou-se um aumento de 3 dB(A) (Freitas et al., 2006), o que corresponde a um aumento do volume de tráfego de 50%.

## 2. METODOLOGIA DE ENSAIO

A avaliação do ruído do tráfego baseou-se na norma ISO 11819-1:1997(E). 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 isentas de quaisquer patologias.

Neste caso, foram seleccionados 7 locais que compreendem 5 tipos de misturas betuminosas: 1 em betão betuminoso denso (BBD); 2 em microbetão betuminoso rugoso (MBR), 1 em betão betuminoso rugoso (BBR), 2 em mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (MBA-BMB); 1 em betão betuminoso rugoso com betume modificado com borracha (MBR-BMB). O sonómetro utilizado para a medição do nível e do espectro de ruído foi colocado a 7,5 m do centro da via, a 1,2 m de altura.

Os veículos de ensaio foram previamente seleccionados e os ensaios decorreram quase todos durante o período nocturno com o tráfego normal interrompido. Com este procedimento garantiu-se que as condições relativas ao tráfego, no que respeita ao tipo de veículo, tipo de

pneus e à velocidade, são constantes e que o nível de ruído medido não é influenciado por outros veículos.

Assim, foram seleccionados 2 veículos ligeiros e um pesado de 2 eixos, os quais fizeram um total de 188 passagens no conjunto dos 7 pavimentos a 3 níveis de velocidade, com o motor ligado. A cada passagem registou-se o nível de ruído máximo e o espectro de ruído, a velocidade dos veículos, a velocidade do vento e a temperatura do ar e do pavimento. Além disso, em cada local, determinou-se a profundidade média da textura e o coeficiente de atrito.

### 3. CONDIÇÕES DE ENSAIO

#### 3.1. Caracterização dos trechos ensaiados e da respectiva superfície

Na selecção dos locais de ensaio teve-se em conta, não só a diversidade de camadas de desgaste como também a facilidade de realização dos ensaios. Assim, foram escolhidos trechos rectos de elevada extensão para que os veículos pudessem atingir as velocidades pretendidas e travar em segurança. A área envolvente do ponto de medição do ruído está, na medida do possível, livre de elementos reflectores de altura elevada.

Na Figura 1 mostra-se o enquadramento de cada local de ensaio e o aspecto da superfície. Apresenta-se ainda o acrónimo da mistura betuminosa correspondente associado à dimensão máxima do inerte (Dmax), assim como a porosidade (n), a percentagem de betume (b), a percentagem de borracha por peso de betume (bb) e a idade da camada.

A profundidade da textura e o coeficiente de atrito foram determinados de acordo com as normas ISO 13473-1:1997 e ASTM E303-93(2003), respectivamente. No Quadro 1 apresentam-se os valores relativos a cada superfície de estudo.







		<b>Superfície S1(BBR12)</b> Betão Betuminoso Rugoso Dmax: 12 mm n: 3,6% b: 5,1% Idade: 1 ano
		<b>Superfície S2(MBR6)</b> Microbetão Betuminoso Rugoso Dmax: 6 mm n: 6,6% b: 6,2% Idade: 2 anos
		<b>Superfície S3(MBR – BMB15)</b> Mistura Betuminosa Rugosa com Betume Modificado com Borracha Dmax: 15 mm n: 4,5% b: 7,5% bb: 18% Idade: 7 anos

Figura 1 – Enquadramento do local de ensaio e aspecto das camadas de desgaste (continua)

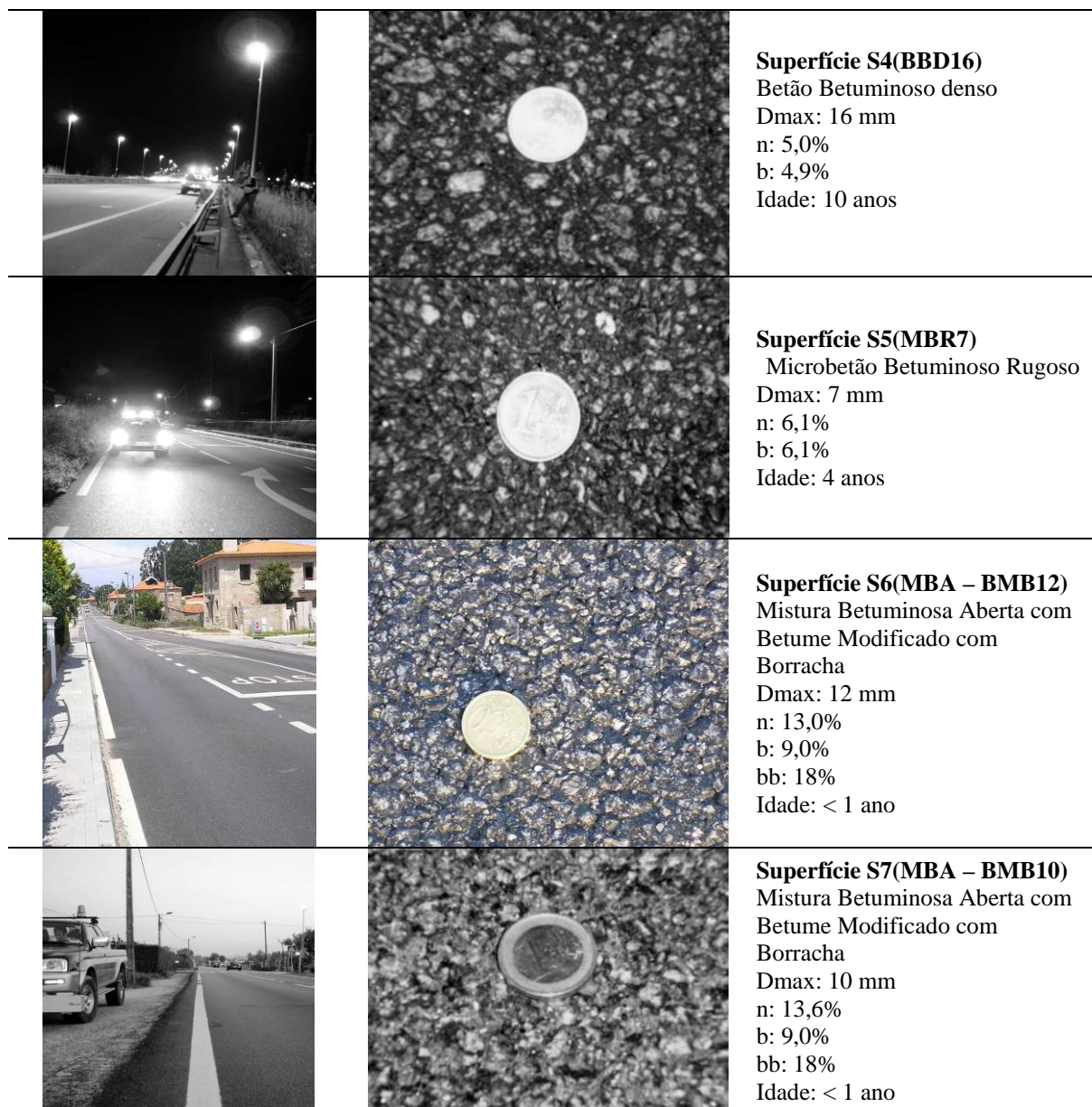


Figura 1 – Enquadramento do local de ensaio e aspecto das camadas de desgaste (continuação)

Quadro 1 – Características superficiais: profundidade média da textura e atrito

Superfície	PMT (mm)	PMT mínimo (mm)	Coefficiente de atrito a 20°C (BPN)	Coefficiente de atrito recomendado (BPN)
S1(BBR12)	1,0	1,0	54,5	55
S2(MBR6)	0,6	1,0	52,2	55
S3(MBR-BMB15)	0,6	0,9	50,6	55
S4(BBD16)	0,7	0,6	51,4	55
S5(MBR7)	0,6	1,0	51,8	55
S6(MBA-BMB12)	0,7	1,1	50,0	55
S7(MBA-BMB10)	0,8	1,1	52,6	55

Verifica-se para os dois parâmetros que os valores mínimos habitualmente recomendados nos cadernos de encargos não são atingidos em quase todas as secções. Como consequência, o nível de ruído será previsivelmente superior ao desejado.



### 3.2. Caracterização dos veículos e da velocidade de ensaio

Para a realização dos ensaios foram seleccionados 3 veículos, agrupados de acordo com as categorias preconizadas na norma adoptada (Figura 2):

- ligeiros (1 Volkswagen Pólo, 1 Nissan Strakar);
- pesados de 2 eixos (1 Volvo);
- pesados multi-eixos (não foram considerados).



Figura 2 – Veículos utilizados nos ensaios

A velocidade de ensaio foi estabelecida em função da categoria da estrada e dos respectivos limites legais para cada tipo de veículo, o que compreende 2 níveis preconizados na norma adoptada:

- velocidade baixa – entre 45 e 64 km/h, para tráfego urbano;
- velocidade média – entre 65 e 99 km/h, para áreas suburbanas ou tráfego rural.

Para os 2 tipos de veículos consideraram-se os níveis de velocidade baixa e média. Em cada tipo de pavimento o veículo pesado (P) efectuou 4 passagens a 50km/h e a 70 km/h. O Volkswagen Pólo (L(P)) efectuou 4 passagens a 50 km/h, a 70 km/h e a 90 km/h. Para os mesmos limites de velocidade o veículo Nissan Strakar (L(S)) efectuou apenas duas passagens.

### 3.3. Caracterização das condições climáticas

O limite que a norma ISO 11819-1:1997 impõe para a velocidade do vento é de 5m/s. As velocidades máximas medidas em cada local encontram-se significativamente abaixo do limite (Quadro 2). Quanto à temperatura, esta norma refere que a temperatura ambiente deve estar compreendida entre 5°C e 30°C e que a temperatura do pavimento deve estar compreendida entre os 5°C e 50°C. As temperaturas obtidas encontram-se nos intervalos referidos (Quadro 2).

Os dados relativos à velocidade do vento e à temperatura não foram utilizados para a correcção dos níveis de ruído uma vez que a alteração daí resultante seria inferior ao erro do equipamento de medida e à variabilidade dos níveis de ruído registados.

Quadro 2 – Avaliação das condições de Ensaio

Superfície	Velocidade do Vento m/s	Temperatura Ambiente °C		Temperatura do Pavimento	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
S1(BBR12)	2,12	19	29	29	36
S2(MBR6)	1,70	21	26	29	33
S3(MBR-BMB15)	1,57	13	16	17	19
S4(BBD16)	0,34	10	12	11	15
S5(MBR7)	1,13	20	20	14	16
S6(MBA-BMB12)	2,32	19	21	22	23
S7(MBA-BMB10)	0,65	19	20	22	26

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos para as 7 superfícies de estudo encontram-se no Quadro 3, organizados por tipo de superfície, veículo de ensaio e velocidade nominal de ensaio. A sua análise é feita a seguir, primeiro em função da velocidade efectivamente medida e depois considerando níveis de ruído médios para os três níveis de velocidade considerados (50, 70 e 90 km/h), identificados a sombreado no Quadro 3.

Quadro 3 – Níveis de ruído máximos (dB(A))

S1(BBR12)									S2(MBR6)								
L(P)			P			L(S)			L(P)			P			L(S)		
50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
69,4	72,6	72,6	78,4	80,5	-	-	-	-	67,3	70,5	72,0	75,70	84,70	-	69,0	67,3	68,9
66,0	72,8	73,5	79,0	80,7	-	-	-	-	66,9	69,8	72,5	80,50	81,90	-	-	72,7	72,9
68,8	73,8	75,7	78,9	80,7	-	-	-	-	64,7	71,0	75,1	80,40	81,50	-	-	-	-
68,2	72,1	76,5	78,0	82,3	-	-	-	-	67,7	71,8	74,4	75,60	82,00	-	-	-	-
66,7	-	-	-	-	-	-	-	-	65,9	70,3	-	-	-	-	-	-	-
66,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67,6	72,8	74,6	78,6	81,1	-	-	-	-	66,5	70,7	73,5	78,1	82,5	-	69,0	70,0	70,9

S3(BBR-BMB15)									S4(BBD16)								
L(P)			P			L(S)			L(P)			P			L(S)		
50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
72,7	78,5	80,1	80,7	84,1	-	73,2	77,8	78,5	71,4	76,7	79,0	74,8	83,5	-	72,1	75	79,1
73,2	76,8	81,2	79,2	81,8	-	73,6	77,3	79,2	70,6	75,8	79,9	74,8	81,2	-	70,6	75,6	79,1
72,0	76,7	80,7	81,0	84,6	-	-	-	-	70,7	76,1	79,7	75,4	82,0	-	72,7	-	77,8
73,9	78,2	80,7	80,0	85,4	-	-	-	-	71,1	75,7	78,0	75,8	83,4	-	-	-	-
73,0	-	-	83,4	-	-	-	-	-	71,7	-	-	75,3	81,7	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	70,8	-	-	-	-	-	-	-	-
73,0	77,6	80,7	80,9	84,0	-	73,4	77,6	78,9	71,1	76,1	79,2	76,4	82,4	-	71,8	75,3	78,6

S5(MBR7)									S6(MBA-BMB12)								
L(P)			P			L(S)			L(P)			P			L(S)		
50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
70,2	73,8	77,4	79,9	83,7	-	-	-	-	68,2	73,3	74,8	79,2	89,1	-	68,3	71,3	74,8
70,3	72,9	76,5	80,2	84,2	-	-	-	-	67,9	72,4	74,5	79,5	83,2	-	67,0	73,4	74,9
70,3	72,3	75,9	81,4	84,1	-	-	-	-	68,9	72,6	74,8	79,1	84,3	-	-	-	-
68,7	71,8	77,4	81,7	82,6	-	-	-	-	68,1	73,5	73,9	79,2	82,6	-	-	-	-
-	-	-	80,0	-	-	-	-	-	-	72,0	-	81,1	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70,8	-	-	-	-	-	-	-
69,9	72,7	76,8	80,6	83,65	-	-	-	-	68,35	72,4	74,5	79,3	84,0	-	67,7	72,3	74,9

S7(MBA-BMB10)								
L(P)			P			L(S)		
50	70	90	50	70	90	50	70	90
65,7	69,6	71,6	78,3	80,2	-	67,8	70,2	70,8
67,1	69,9	73,0	77,6	78,3	-	69,0	68,7	72,6
65,9	69,2	72,6	79,3	81,1	-	-	-	-
66,5	71,5	70,5	78,8	84,2	-	-	-	-
-	-	-	81,9	-	-	-	-	-
-	-	-	80,1	-	-	-	-	-
66,3	70,05	71,925	78,5	80,967	-	68,4	69,45	71,7

## 4.2. Variação do Nível de Ruído com a Velocidade

A partir dos dados apresentados no Quadro 3 e da velocidade de ensaio para cada nível considerado, determinou-se a recta de regressão nível de ruído-velocidade. Na Figura 3 apresenta-se para cada local de ensaio os pontos obtidos e as rectas de regressão respectivas a cada veículo. No Quadro 4 apresentam-se os parâmetros resultantes da regressão: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e inclinação da recta ( $a$ ).

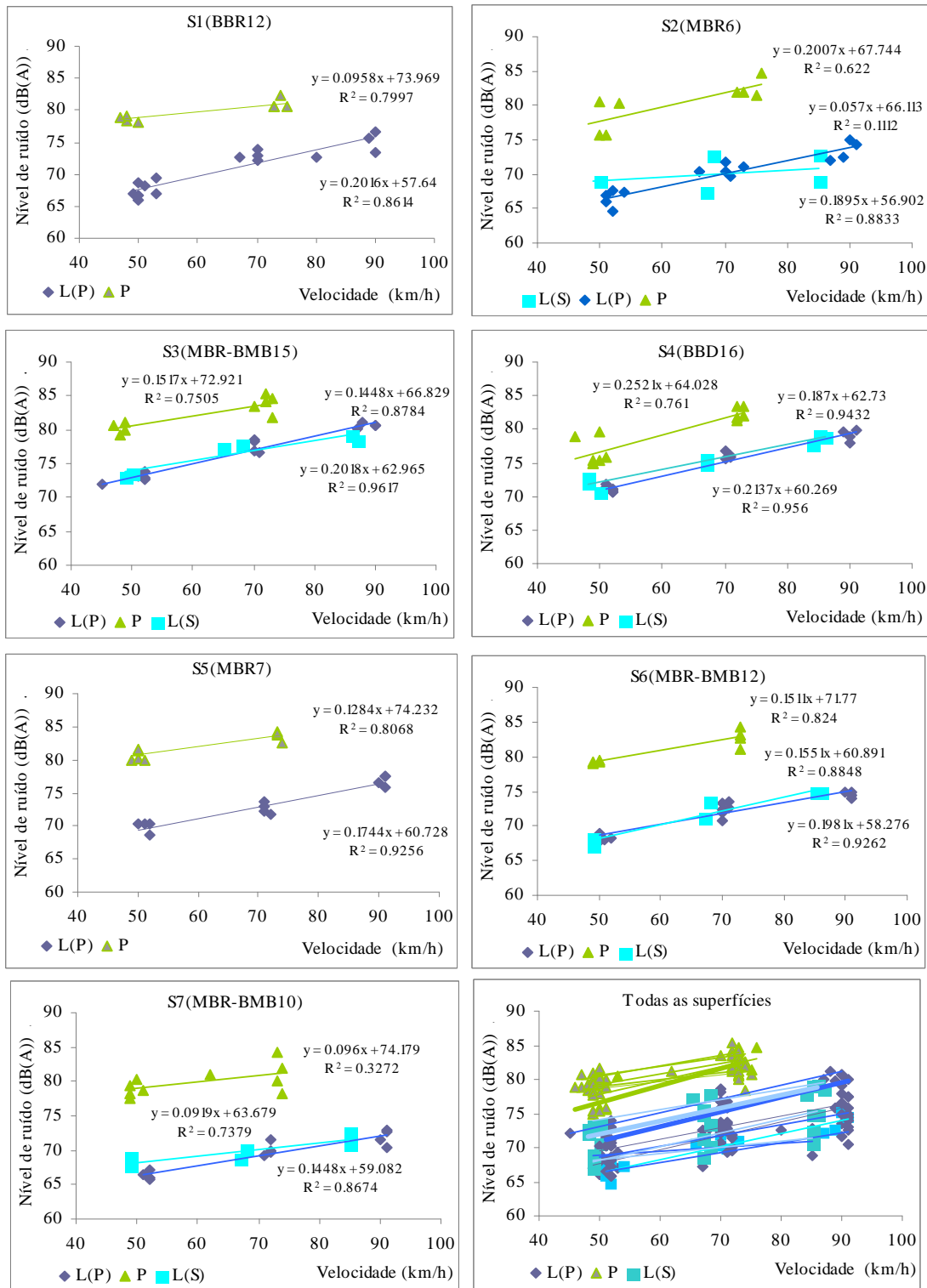


Figura 3 – Nível de ruído em função da velocidade



Quadro 4 – Resumo de dados das Rectas de Regressão

Superfície	Ligeiro (polo)		Pesado (volvo)		Ligeiro (strakar)	
	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a
S1(BBR12)	0.861	0.201	0.800	0.096	-	-
S2(MBR6)	0.883	0.190	0.622	0.201	0.111	0.057
S3(MBR-BMB15)	0.962	0.202	0.750	0.152	0.878	0.144
S4(BBD16)	0.956	0.214	0.761	0.252	0.943	0.187
S5(MBR7)	0.925	0.174	0.807	0.128	-	-
S6(MBA-BMB12)	0.885	0.155	0.824	0.154	0.926	0.198
S7(MBA-BMB10)	0.867	0.144	0.327	0.096	0.738	0.092

Como seria de esperar, o nível de ruído do veículo pesado é superior ao dos veículos ligeiros, atingindo valores superiores em 15 dB(A).

De um modo geral, a variabilidade do nível de ruído para cada veículo e para cada nível de velocidade é pouco significativa. No decorrer dos ensaios verificou-se que uma das causas da dispersão que se pode observar é a dificuldade de controlo da aceleração dos veículos, resultante da geometria da estrada e da extensão do trecho de ensaio.

Quanto à evolução do nível de ruído com a velocidade, verifica-se que esta pode ser considerada linear dado que a qualidade do ajuste das rectas é de uma forma geral boa, como se pode confirmar através dos coeficientes de determinação relativamente elevados (Quadro 4), e que o número de velocidades de ensaio é reduzido. Observa-se, comparando a inclinação da recta (a) que o nível de ruído aumenta mais com a velocidade na superfície S4(BBD). O contrário observa-se para a superfície S7(MBA-BMB). Apesar destas diferenças, as rectas de regressão são quase paralelas donde se pode concluir que a evolução do nível de ruído com a velocidade é muito semelhante, quer entre veículos quer entre as 7 superfícies.

#### 4.3. Análise do Nível de Ruído Médio Versus Tipo de Superfície

Na Figura 4 apresenta-se o nível de ruído médio para cada velocidade e tipo de veículo.

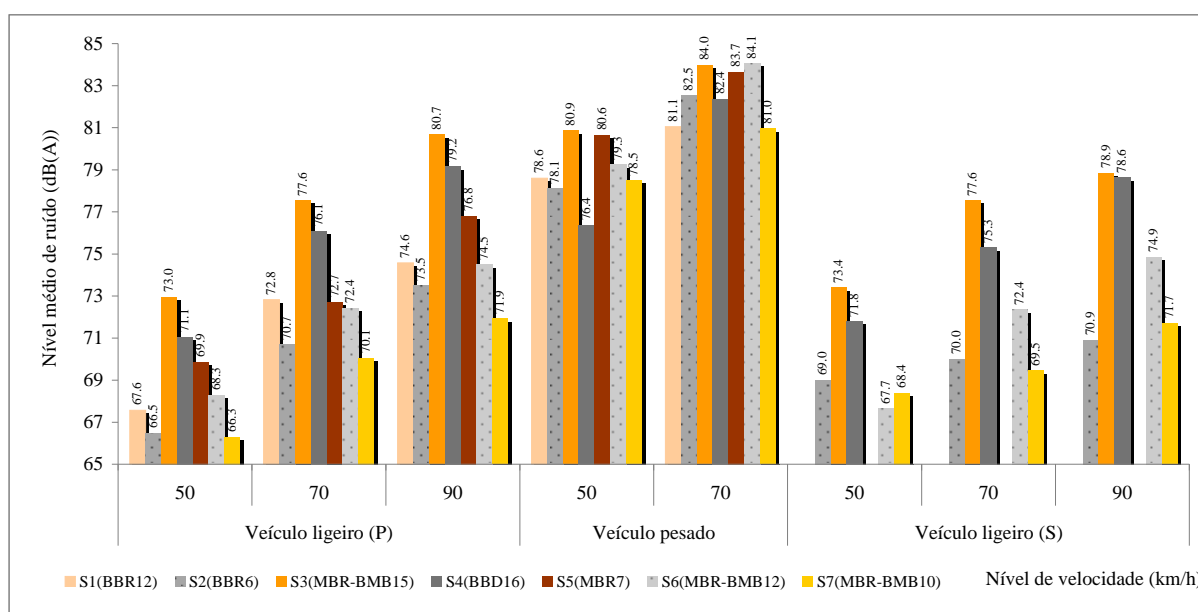


Figura 4 – Nível de Ruído Médio

Em termos absolutos, para os veículos leves as superfícies S2(MBB6) e S7(MBA-BMB10) proporcionam os níveis de ruído mais reduzidos, compreendidos entre 66 e 74 dB(A), enquanto que a superfície S3(BBR15) proporciona os valores mais elevados, entre 73 e 81dB(A). Para o veículo pesado, estas relações são menos evidentes uma vez que os valores máximos e mínimos dependem da velocidade de ensaio. Assim, para a velocidade de 50 km/h a superfície S4(BBD16) proporciona o valor mais reduzido (76.4 dB(A)) e para a velocidade de 70 km/h as superfícies S3(BBR-BMB15), S5(MBR7) e S6(MBA-BMB12) apresentam valores próximos a 84 dB(A). Neste caso, a 50 km/h o ruído produzido pelo motor pode ainda predominar, o que pode ser verificado realizando os ensaios com o motor desligado.

#### 4.4. Análise do Nível de Ruído Médio Versus Superfície de Referência

Considerando como referência a superfície em betão betuminoso denso (S4) é possível determinar em termos médios, para estas condições de estudo, a redução ou incremento do nível de ruído que pode ser obtido com a utilização de uma determinada superfície. Na Figura 5 apresenta-se a diferença do nível de ruído das superfícies estudadas relativamente aos resultados obtidos para a superfície S4(BBD16). Nesta figura, as diferenças negativas indicam que o nível de ruído é inferior ao obtido para a superfície S4(BBD16).

Em termos relativos, põe-se concluir que para quaisquer velocidade e tipo de veículo, a superfície S3(BBR-BMB15) tem diferenças que se aproximam na generalidade dos 2 dB(A).

Qualquer que seja a superfície, para a velocidade de 50 km/h e para o veículo pesado, o nível de ruído é sempre superior ao da referência, com diferenças entre 3 dB(A) e 6 dB(A). Por sua vez, para a velocidade de 70 km/h, apenas as superfícies S1(BBR12) e 7(MBA-BMB10) reduzem o ruído, embora as diferenças sejam pouco significativas para todas as superfícies.

As diferenças encontradas para os veículos leves são mais significativas, verificando-se que as superfícies S7(MBA-BMB10) e S2(MBR6) apresentam valores muito próximos. Estes proporcionam uma redução do nível de ruído de cerca de 5 dB(A) para a velocidade de 50 km/h, de 6 dB(A) para a velocidade de 70 km/h e superior a 7 dB(A) para a velocidade de 90 km/h.

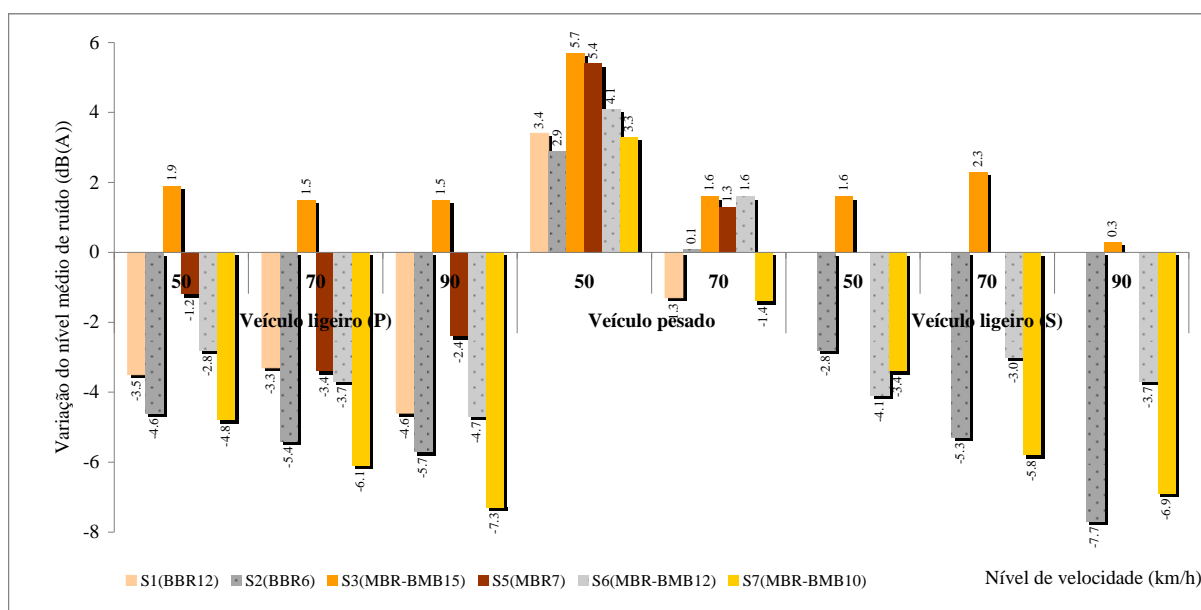


Figura 5 – Diferença de nível de ruído

## 5. CONCLUSÕES

A construção de camadas silenciosas está-se a tornar a medida de mitigação do ruído rodoviário preferida das administrações rodoviárias, devido à sua influência directa na geração de ruído. Por esta razão, neste artigo estudou-se o ruído de contacto pneu-pavimento em 7 estradas em serviço com 5 tipos de superfícies: 1 em betão betuminoso denso (BBD), 2 em microbetão betuminoso rugoso (MBR), 1 em betão betuminoso rugoso (BBR), 2 em mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (MBA-BMB) e 1 em betão betuminoso rugoso com betume modificado com borracha (MBR-BMB).

Para ser possível comparar os resultados com maior fiabilidade, os veículos de ensaio foram previamente seleccionados (2 ligeiros e 1 pesado) e os ensaios decorreram na generalidade durante o período nocturno com o tráfego normal interrompido.

Nessa análise abordou-se a evolução do nível de ruído com a velocidade em cada superfície e o nível de ruído médio relativo a cada velocidade e tipo de veículo, podendo-se concluir que:

- a repetibilidade dos resultados é de uma forma geral boa, como se verifica pela reduzida dispersão dos resultados nas várias repetições, com cada veículo e em cada nível de velocidade;
- a evolução do nível de ruído com a velocidade é muito semelhante, quer entre veículos quer entre as 7 superfícies;
- o nível de ruído aumenta mais com a velocidade na superfície S4(BBD16);
- o aumento do nível de ruído com a velocidade é mais reduzido na superfície 7(MBA-BMB10);
- relativamente à superfície S4(BBD16) e para quaisquer velocidade e tipo de veículo, a superfície S3(BBR-BMB15) incrementa o ruído na generalidade em 2 dB(A).
- a 50 km/h e em qualquer superfície, o veículo pesado gera níveis de ruído superiores de 3 dB(A) a 6 dB(A), o que deve ser verificado com a realização dos ensaios com o motor desligado;
- a 70 km/h, as superfícies S3(BBR15), S5 (MBR7) e S6(MBA-BMB12) apresentam valores superiores à referência e as superfícies S1(BBR12) e S7(MBA-BMB10) apresentam valores inferiores, embora reduzidos para os dois casos,
- para os veículos ligeiros, as diferenças relativas à referência são mais significativas, podendo ser superiores a 7dB(A);
- as superfícies S7(MBA-BMB10) e S2 (MBR6) apresentam reduções muito próximas – de cerca de 5 dB(A) para a velocidade de 50 km/h, de 6 dB(A) para a velocidade de 70 km/h e superior a 7 dB(A) para a velocidade de 90 km/h;
- a 70 km/h, as superfícies S1(BBR12), S5(MBR7) e S6 (MBA-BMB12) reduzem o ruído de cerca de 3 dB(A), no caso dos veículos ligeiros; e a 90 km a superfície S1(BBR12) reduz o ruído em cerca de 4 dB(A).

Uma vez que a idade dos pavimentos que proporcionam maiores reduções ainda é muito reduzida (inferior a 2 anos), é importante repetir os ensaios realizados e comparar os resultados para estudar a evolução que ocorre ao longo do tempo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andersen B., Bendtsen H. and Larsen L. (2006). *Acoustic Performance of Low-Noise Road Pavements*. Silvia Project Report, Denmark.

- Andrea A., Mascio P., Domenichini L., Ranzo A. (1999). “*TINO Prototype of a Low Noise Asphalt*”. 1º International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction. Rome
- AIPCR/PIARC (2003). *Surface Characteristics*. Paris.
- Andersen B., Bendtsen H., Larsen L.E. - SILVIA Project Report( 2000). “*Acoustic performance of Low-Noise Road Pavements*”. Edited by Hans Bendtsen. Denmark.
- Bartolomaeus W. (2006). *The Potential of Different Road Surface Designs in Road Traffic Noise Reduction – European Experience on Pavement Influence on Noise (Experiences in Germany)*. Jornadas Técnicas, Madrid 2006.
- Bendtsen H., Raaberg J. (2006). “*French Experiences on Noise Reducing Thin Layers*”. Disponível em <http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VInot028/index.htm>. Denmark.
- Descornet G. and Goubert L. (2006). *Noise Classification of Road Pavements, Task 1: technical background information 1*, Draft Report 05. Directorate-General Environment. European Commission.
- Freitas E., Pereira P., Picado-Santos L., Santos A. (2006). “*A influência da água no ruído produzido pelo tráfego rodoviário*”. Engenharia Civil. pp 5-15. Universidade do Minho, Portugal.
- Gomes L., Seixas P. (2006). “*Utilização de misturas betuminosas com betume modificado com borracha na obra do IC24, entre Freixeiro e Alfena*”. Seminário LNEC/CRP - Pavimentos Rodoviários Verdes. Lisboa.
- ISO 11819-1:1997. *Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method*. International Organisation for Standardisation (ISO). Geneve, Switzerland.
- ISO/CD 11819-2: 2000. *Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on traffic noise – Part 2: The Close Proximity Method*. Draft Standard ISO 11819-2. International Organisation for Standardisation (ISO). Geneve, Switzerland.
- ISO 13473-1:1997. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth*. International Organisation for Standardisation (ISO). Geneve, Switzerland.
- Ruivo (2004). “*Avaliação do Efeito do Pavimento no Ruído de Tráfego Rodoviário (II) – relatório de ensaios pavimento B.M.B. versus pavimento B.B.R.. CERTIPROJECTO/RECIPAV/AEA*. Lisboa.
- Sandberg U., Ejsmont J.(2002). *Tyre / Road Noise Reference Book*. Informex SE – 59040. Kisa. Sweden ([www.informex.info](http://www.informex.info))
- Sans (2006). “*Evaluación del Ruido de Rodadura en Carreteras*”. UCLM, Ciudad Real.
- SILVIA (2006). “*Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*”. Report. Forum of European National Highway Research Laboratories. Brussels. Belgium

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio imprescindível da AENOR – Auto-estradas do Norte, S.A e da EP – Estradas de Portugal, E.P.E. (Direcção de Braga).