

A INFLUÊNCIA DO PAVIMENTO COMO MEDIDA DE REDUÇÃO DO RÚIDO NA FONTE | UM CASO DE ESTUDO

Maria João Rato¹, Maria Inês Ramos², Rosa Daniela Domingues³, Isabel Cristina Gonzalez⁴; Maria Margarida Braga⁵, Luis Dias Fernandes⁶, Ana Pinto Falcão⁷, Elisabete Fraga Freitas⁸ e Eduardo Mira Fernandes⁹

¹ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: maria.rato@brisa.pt

² BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: maria.ramos@brisa.pt

³ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: rosa.domingues@brisa.pt

⁴ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: isabel.gonzalez@brisa.pt

⁵ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: maria.braga@brisa.pt

⁶ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: luis.dias.fernandes@brisa.pt

⁷ BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal
email: ext_afalcao@brisa.pt

⁸ Universidade do Minho, ISE, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800 058 Guimarães, Portugal
email: efreitas@civil.uminho.pt,

⁹ Geovia, Lisboa, Portugal
email: emfernandes@geovia.pt

Sumário

O ruído rodoviário é um problema ambiental relevante, resultando essencialmente dos mecanismos de contato entre o pneu e a superfície do pavimento. De acordo com a legislação em vigor, as ações de gestão de ruído devem prioritariamente intervir na redução na fonte. Torna-se relevante avaliar e caracterizar os pavimentos em termos acústicos. Assim, o objetivo deste estudo consiste na avaliação do ruído pneu-pavimento em três secções de autoestrada, antes e após a intervenção de substituição da camada de desgaste em AC 14 e PA 12,5 por SMA 12, recorrendo a duas metodologias distintas: o método Estatístico de Passagem e o método da Proximidade Imediata.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Pavimentos; Ruído; Ensaios; CPX; SPB, SMA

1 INTRODUÇÃO

O ruído pneu-pavimento é influenciado por vários fatores, nomeadamente 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, irregularidade, porosidade, rigidez, idade, desgaste e presença de água) e pelo clima (temperatura e vento) [1]. As relações causa-efeito estabelecidas têm vindo a ser confrontadas ou confirmadas ao longo do tempo, encontrando-se resumidas, por exemplo, em [2] Para a medição do ruído pneu-pavimento existem métodos de ensaio específicos para o efeito, que devem ser complementados com outros ensaios de caracterização da superfície como é o caso da textura, da absorção sonora e da rigidez da camada superficial, determinada a partir da impedância mecânica. Em [3] é feita uma listagem exaustiva dos métodos em função do contexto de aplicação (*in situ* ou laboratório).

Em Portugal foram efetuados alguns estudos com base nessas metodologias, nomeadamente pelo Método Estatístico de Passagem (*Statistical Pass-By method*, SPB) e Método da Proximidade Imediata (*Close Proximity method*, CPX), mas apenas com carácter exploratório ou para apoiar atividades de investigação [4, 5].

Ainda assim, não existe para o caso de Portugal documentação técnica que defina valores de referência no que respeita à conformidade de produção ou desempenho ao longo do tempo.

Recentemente, foi adaptado para as condições portuguesas o manual referente aos critérios de contratação pública ecológica, no âmbito da ENCPE 2020 que visa apoiar os processos de «Conceção, construção, reabilitação e conservação de estradas» [6], não sendo por isso vinculativo, apenas orientador. Neste documento são indicados requisitos mínimos aplicáveis à conceção de pavimentos de baixo ruído, que dentro dos critérios essenciais para pavimentos novos de baixo ruído, tomam os seguintes valores, mas apenas para método CPX:

- 90 dB(A) a 50 km/h; e/ou
- 95 dB(A) a 70 km/h; e/ou
- 98 dB(A) a 90 km/h.

Neste documento admite-se um aumento inferior a 3 dB(A) durante o período mínimo de garantia (cinco anos), que o nível de ruído máximo, medido pelo método CPX, pode sofrer.

No enquadramento ditado pelas diretivas europeias sobre avaliação e gestão do ruído ambiente (2002/49/CE [7] e (EU)2015/996 [8], de 25 de junho e de 19 de maio, respetivamente), a Brisa – Concessão Rodoviária, S.A. tem desenvolvido esforços para determinar a influência dos pavimentos como medida de redução do ruído na fonte e, simultaneamente, validar a aplicabilidade do método de previsão de ruído CNOSSOS à realidade da rede rodoviária de que é Concessionária.

Este Projeto analisa o efeito da substituição da camada de desgaste em Betão Betuminoso Drenante (PA 12,5) Betão Betuminoso Rugoso e em Betão Betuminoso (AC 14), em fim de vida, por uma camada de elevado desempenho em Stone Mastic Asphalt (SMA 12), através dos métodos SPB e CPX.

2 SECÇÕES DE ESTUDO E METODOS DE ENSAIO

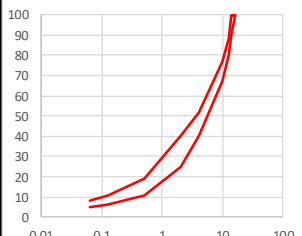
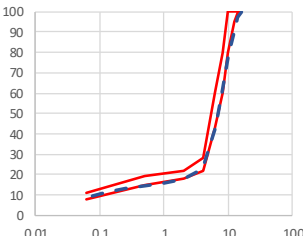
2.1 Metodologia do estudo

Para este estudo exploratório foram selecionados três sublanços de autoestrada onde estavam previstas intervenções no pavimento, isto é, a substituição da camada de desgaste existente por uma do tipo SMA 12. Antes e após a intervenção, o ruído pneu-pavimento foi avaliado utilizando duas metodologias distintas: o método Estatístico de Passagem (SPB), e o método da Proximidade Imediata (CPX).

2.2 Descrição das secções de estudo

As principais características da camada de desgaste do pavimento dos três sublanços de autoestrada encontram-se resumidas no Quadro 1, para as situações antes e após a substituição da camada de desgaste. Essas características incluem a curva granulométrica, a percentagem de betume, a porosidade e a macrotextura.

Quadro 1. Caracterização das misturas das camadas de desgaste antes e após intervenção (Autoestrada A)

Autoestrada A Pavimento ANTIGO - AC 14 Surf 35/50 (BB)					Autoestrada A Pavimento NOVO - SMA 12 Surf PMB 45/80-65								
Curva granulométrica AC 14 Surf 35/50 (BB)			Percentagem betume	Porosidade da mistura compactada	Macrotextura Pavimento MTD	Curva granulométrica SMA 12 Surf PMB 45/80-65				Percentagem betume	Porosidade da mistura compactada	Macrotextura Pavimento	
Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)		Especificação CE			Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)	Valores médios % passados	Desvio Padrão % Passados	% média	% média	MTD _{médio}	
16	100	100	≥ 5,0 %	6,0 ± 2,0	≥ 0,7	16	100	100	100	± 0	6,3 ± 0,2	6,3 ± 1,2	1,3 ± 0,1
14	100	90				14	100	100	97	± 1			
12,5	88	80				12,5	100	95	92	± 2			
10	77	67				10	100	80	79	± 3			
8					8	80	60	60	± 3				
6,3					6,3	60	43	43	± 3				
4	52	40			4	28	22	23	± 2				
2	40	25			2	22	18	18	± 2				
1					1			16	± 2				
0,500	19	11			0,500	19	15	15	± 1				
0,250					0,250			13	± 1				
0,125	11	6			0,125			11	± 1				
0,063	8	5			0,063	11	8	8,8	± 1,1				

Quadro 2. Caracterização das misturas das camadas de desgaste antes e após intervenção (Autoestrada B)

Autoestrada B Pavimento ANTIGO - AC 14 Surf 35/50 (BBr)					Autoestrada B Pavimento NOVO - SMA 12 Surf PMB 45/80-65								
Curva granulométrica AC 14 Surf 35/50 (BBr)			Porosidade da mistura compactada	Macrotextura Pavimento MTD	Curva granulométrica SMA 12 Surf PMB 45/80-65				Porosidade da mistura compactada	Macrotextura a Pavimento			
Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)		Especificação CE		Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)		Valores médios % passados	Desvio Padrão % Passados	% média	% média	MTD _{médio}	
16	100	100	≥ 5,0 %	6,0 ± 2,0	≥ 1,1	16	100	100	100	± 0	6,5 ± 0,1	6,2 ± 0,01	1,4 ± 0,1
14	100	90				14	100	100	99	± 1			
12,5	90	70				12,5	100	95	97	± 3			
10	78	62				10	100	80	80	± 3			
8						8	80	60	60	± 4			
6,3						6,3	60	43	41	± 4			
4	39	28				4	28	22	25	± 3			
2	30	22				2	22	18	19	± 1			
1	25	17				1			17	± 1			
0,500	20	12				0,500	19	15	15	± 1			
0,250						0,250			13	± 1			
0,125						0,125			11	± 1			
0,063	10	6				0,063	11	8	8,6	± 0,7			

Quadro 3. Caracterização das misturas das camadas de desgaste antes e após intervenção (Autoestrada B)

Autoestrada C Pavimento ANTIGO - PA 12,5 PMB 45/80-65 (BBd)					Autoestrada C Pavimento NOVO - SMA 12 Surf PMB 45/80-65								
Curva granulométrica PA 12,5 PMB 45/80-65 (BBd)			Porosidade da mistura compactada	Macrotextura a Pavimento MTD	Curva granulométrica SMA 12 Surf PMB 45/80-65				Porosidade da mistura compactada	Macrotextura a Pavimento			
Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)		Especificação CE		Peneiros # mm	Fuso Caderno Encargos (% passados)		Valores médios % passados	Desvio Padrão % Passados	% média	% média	MTD _{médio}	
16	100	100	≥ 4,0	22 - 30	≥ 1,2	16	100	100	100	± 1	6,4 ± 0,1	5,6 ± 1,4	1,3 ± 0,1
14						14	100	100	98	± 2			
12,5	100	80				12,5	100	95	95	± 2			
10	80	55				10	100	80	85	± 3			
8						8	80	60	65	± 3			
6,3	48	28				6,3	60	43	45	± 3			
4	28	14				4	28	22	25	± 2			
2	21	10				2	22	18	19	± 1			
1	14	6				1			16	± 1			
0,500						0,500	19	15	14	± 1			
0,250						0,250			13	± 1			
0,125						0,125			11	± 1			
0,063	5	2				0,063	11	8	8,7	± 1,1			

No quadro seguinte são apresentados os valores de macrotextura obtida nos pavimentos dos três sublanços das autoestradas antes da substituição da camada de desgaste.

Quadro 4. Informação sobre a macrotextura (MPD) (mm)

Autoestrada	Mínimo	Máximo	Média
A	0,5	1,4	0,8
B	0,6	2,3	1,3
C	1,7	3,6	2,5

2.3 Método estatístico de passagem (SPB)

O método estatístico de passagem (*Statistical Pass-By method* - SPB) é um método normalizado publicado pela norma ISO 11819-1:1997 - Acústica – Medição da influência dos pavimentos no ruído de tráfego rodoviário, para a determinação de um indicador que considera o ruído emitido pelo tráfego rodoviário de passagem.

Com este método pretende-se obter uma classificação quantitativa das superfícies dos pavimentos rodoviários relativamente ao ruído do tráfego rodoviário, com o objetivo de satisfazer uma necessidade manifestada por gestores de infraestruturas rodoviárias, projetistas, empreiteiros, fabricantes de pavimentos e por outras partes interessadas na previsão e controlo do ruído do tráfego rodoviário.

Para determinação dos níveis de pressão sonora que caracterizam uma determinada superfície de pavimento (camada de desgaste) adota-se uma velocidade de referência de circulação de veículos ligeiros e para veículos pesados. O método é aplicável ao tráfego a velocidade constante, ou seja, condições de fluxo livre (sem interferência de outros veículos) a circular a velocidades iguais ou superiores a 50 km/h, sendo, para o caso das autoestradas, 90km/h e 120km/h (veículos pesados e veículos ligeiros).

O método SPB implica a realização de várias medições “*in situ*” do nível máximo de pressão sonora, L_{max} , à passagem do veículo e da respetiva velocidade de circulação, em condições normais de circulação, através de um sonómetro (classe 1 como especificado na IEC 61672-1) posicionado a 7,5 m do eixo da via e de um cinemómetro (radar).

Os níveis máximos de pressão sonora diferem em função da classe dos veículos. Assim, a cada passagem de veículo, é registado o nível sonoro máximo ponderado A, bem como a velocidade e o tipo de veículo correspondente, assente na utilização de uma classificação em duas ou três classes (ligeiros, pesados de eixo duplo e pesados de vários eixos). Após a passagem de, pelo menos, 100 veículos ligeiros e 80 pesados, é estabelecida uma correlação linear entre o logaritmo da velocidade 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 rodovia.

O indicador SPBI resultante do presente método é um valor em índice, em dB(A), com o objetivo de comparar pavimentos e que tem por base, níveis de ruído de diferentes categorias de veículos.

Neste trabalho, dado que o objetivo do método era medir cada veículo “*per se*” sem a interferência de outros veículos, foram selecionados apenas os eventos que cumpriam tal objetivo, tendo sido excluídas as passagens que tinham a influência do ruído de outras fontes. Foram utilizadas apenas duas classes de veículos (ligeiros e pesados).

2.4 Método da proximidade imediata (CPX)

Para cumprir os mesmos efeitos do método SPB, mas continuamente ao longo de uma dada secção de estrada recorreu-se ao método da proximidade imediata (*Close Proximity method* - CPX) de acordo com o definido na Norma EN/ISO 11819-2:2017. No presente caso, a medição do ruído foi feita junto a uma das rodas do veículo de aquisição, onde se colocou dois microfones conforme o esquema de montagem definido na norma. Os sinais registados durante o ensaio são processados por um software de análise e a emissão do ruído global (com ponderação A) é avaliada através da aplicação do método das médias temporais em secções de 20 metros utilizando um pneu representativo do tráfego à média aritmética dos níveis sonoros registados por cada microfone, e ainda pelo espectro sonoro correspondente em bandas de 1/3 oitava (LCPX). Neste estudo utilizou-se apenas o pneu representativo dos veículos ligeiros (P).

Neste trabalho, foram efetuadas medições ao longo das secções definidas para as velocidades de referência de 50 km/h, 80 km/h e 100 km/h, embora neste último caso não tenha sido efetuada para a totalidade dos ensaios realizados.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO SPB

3.1 Nível de ruído medido em cada autoestrada

No Quadro 3 apresentam-se os resultados obtidos pelo ensaio SPB nos três sublanços de autoestrada, antes e depois da substituição da camada de desgaste. Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentados os espectros sonoros para cada Autoestrada.

Quadro 5. Resultados do ensaio SPB

	Tipologia Veículo	% de veículos ligeiros/pesados (no troço/dia de medição)	L_{max} médio dB(A)	Desvio padrão sinais sonoros dB(A)	Desvio padrão velocidade km/h	Velocidade média (km/h)	L_{veh} (velocidade referência) dB(A) (120km/k e 90km/h)	SPBI dB(A)
A	Antes	LIGEIOS	95%	77	3,7	17,7	108	78
	Antes	PESADOS	5%	80	3,7	13,5	85	80
A	Depois	LIGEIOS	95%	77	6,5	14,4	109	75
	Depois	PESADOS	5%	78	1,8	12,3	88	77
B	Antes	LIGEIOS	66%	82	1,9	18,3	114	85
	Antes	PESADOS	34%	86	1,2	4,5	87	87
B	Depois	LIGEIOS	67%	82	1,3	17,9	122	86
	Depois	PESADOS	33%	89	1,8	6,6	92	88
C	Antes	LIGEIOS	93%	87	4,5	13,7	124	86
	Antes	PESADOS	7%	87	2,4	5,6	90	87
C	Depois	LIGEIOS	93%	82	3,4	13,9	120	82
	Depois	PESADOS	7%	84	3,6	8,3	94	82

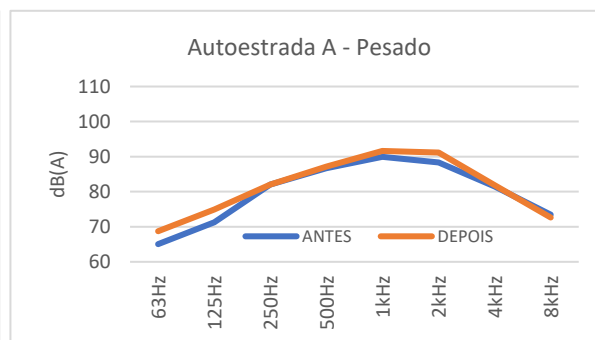
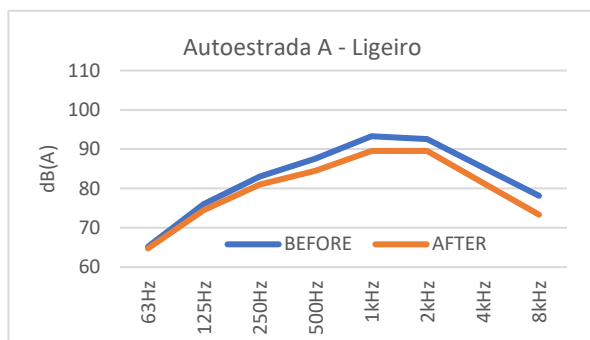


Fig.1. Nível sonoro (dB(A)) vs 1/1 oitava (Hz) – Autoestrada A

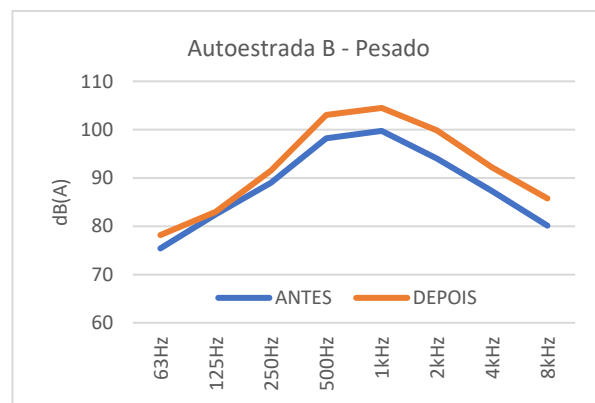
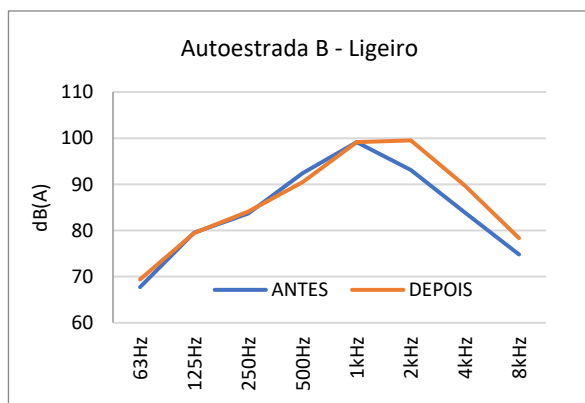


Fig.2. Nível sonoro (dB(A)) vs 1/1 oitava (Hz) – Autoestrada B

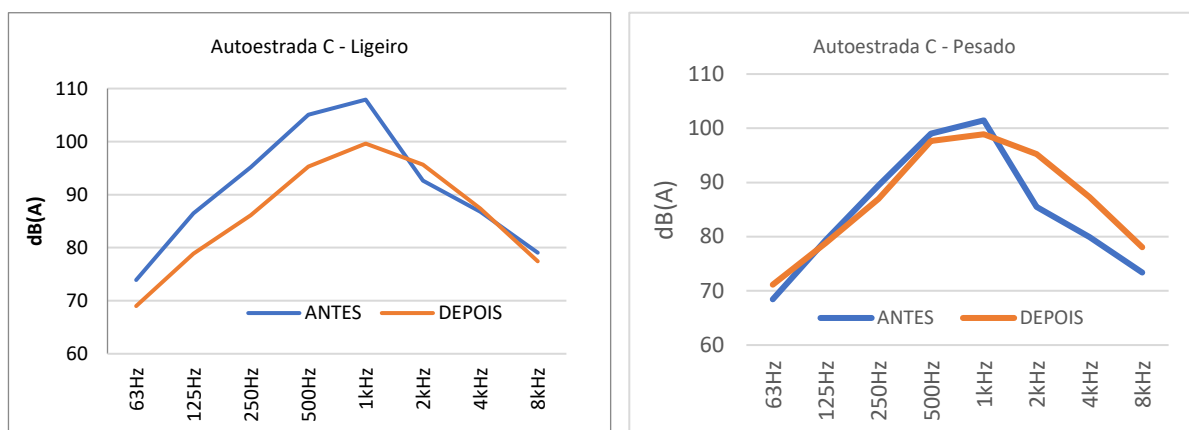


Fig.3. Nível sonoro (dB(A)) vs 1/1 oitava (Hz) – Autoestrada C

A comparação dos valores para o indicador SPBI indica uma redução significativa de 3 e 4 dB(A), nos sublanços das autoestradas A e C, respetivamente. No sublanço da autoestrada B não se verificou redução deste indicador.

Os espectros sonoros provenientes do contacto pneu-pavimento são determinados por vários mecanismos e fatores, sendo que os principais são as vibrações promovidas pela textura do pavimento nos pneus e estado de conservação do pavimento (frequências inferiores a cerca de 1000 Hz), e os movimentos de ar resultantes da interação do piso do pneu com as irregularidades da superfície do pavimento (frequências superiores a cerca de 1000 Hz) e ainda pela absorção sonora [9].

A análise do espectro em frequência por oitava evidencia comportamentos idênticos para as baixas frequências, com exceção da Autoestrada C, onde se verificou para os veículos ligeiros uma diminuição dos níveis de pressão sonora por frequência. Na Autoestrada A, o comportamento nas baixas frequências é também idêntico, antes e após a substituição da camada de desgaste. Nas Autoestradas B e C verifica-se um aumento dos níveis de pressão sonora por frequência após a substituição da camada de desgaste, mais acentuado nos veículos pesados.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO CPX

4.1 Nível de ruído medido em cada autoestrada

O nível de ruído medido é significativamente afetado pela velocidade a que o veículo se encontra no momento da aquisição. Para permitir a comparação de resultados nos 3 níveis de velocidade definidos, a partir dos níveis de ruído determinados em cada segmento de 20 m e da velocidade correspondente, foram definidas retas de regressão $L_{CPX} - \log_{10}(\text{velocidade})$, cujo declive (m) é utilizado para corrigir o L_{CPX} medido para uma dada velocidade de referência. Como exemplo, para as situações antes e após intervenção, mostra-se na Figura 4 os dados obtidos e as retas de ajuste para a autoestrada C. Nesta figura apresenta-se também, para as 3 autoestradas, os parâmetros da reta de regressão obtidos, declive (m) e ordenada na origem (b), e o coeficiente de determinação (R^2).

Observa-se que o parâmetro que representa o aumento do ruído com a velocidade se altera de forma relevante para a Autoestrada C, indicando que o impacto da intervenção em termos de redução do ruído é superior a velocidades mais elevadas. A Autoestrada B mostra uma tendência semelhante à da C. Porém, na Autoestrada A esta tendência é inversa.

A partir das retas de regressão, todos os valores de L_{CPX} foram ajustados para as velocidades de referência (50, 80 e 100 km/h). A título de exemplo, na Figura 5 mostra-se para a Autoestrada C os valores obtidos para a velocidade de referência de 80 km/h antes e após intervenção. Este tipo de visualização, para além de facilitar a comparação dos níveis de ruído obtidos ao longo de um trecho em diversos momentos da vida do pavimento, ajuda a identificar zonas de comportamento homogêneo e heterogêneo, que podem ser relacionadas com fatores explicativos do desempenho, como por exemplo a textura. Neste trecho, antes da intervenção, é notória a variabilidade do ruído ao longo do trecho, atingindo 7.6 dB(A). Depois da intervenção, para além de se observar uma redução do L_{CPX} médio de 5dB(A) também se observada uma redução da variabilidade do ruído para cerca de 5 dB(A). Se for considerado o L_{CPX} por segmento, há diferenças antes-depois da intervenção que atingem os 12 dB(A).

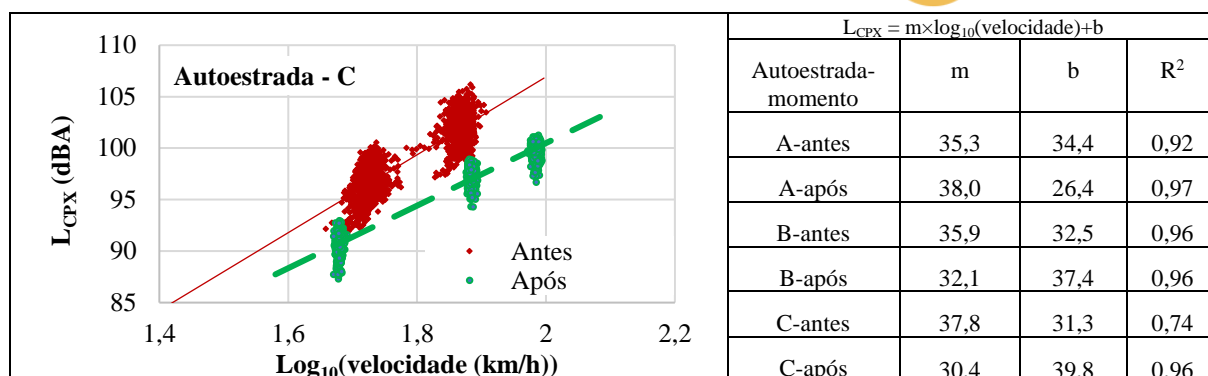


Fig.4. LCPX a 50 (1,7), 80 (1,9) e 100 (2,0) km/h na Autoestrada C e coeficientes da reta de regressão para todas as estradas

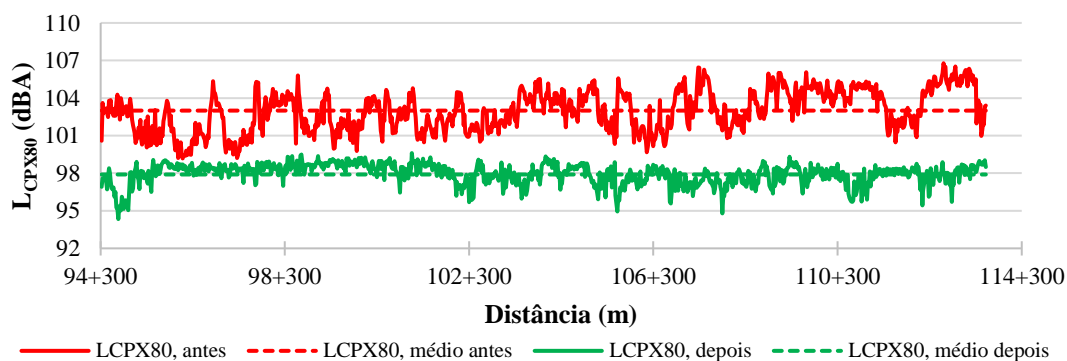


Fig.5. LCPX a 80 km/h na Autoestrada C antes e após intervenção (exemplo)

Para uma avaliação global do efeito da alteração da camada de desgaste nas 3 autoestradas determinou-se a média do LCPX a cada velocidade de referência, nos 2 sentidos de circulação, e o respetivo coeficiente de variação, para facilitar a comparação da variabilidade dos resultados (Figura 6). A Autoestrada C foi a que mais beneficiou com a alteração da camada, enquanto que a Autoestrada B apresentou apenas uma pequena redução. Observa-se também um coeficiente de variação superior antes da intervenção, o que indica que o ruído pneu-pavimento passou a ser mais homogêneo e que o efeito da intervenção em alguns locais é muito superior ao efeito médio determinado pela diferença do LCPX médio.

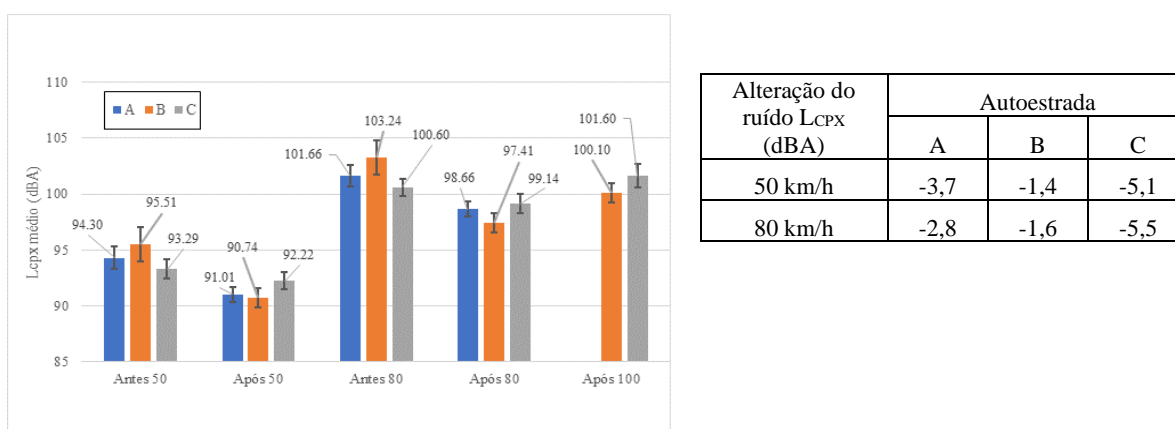


Fig.6. Níveis de ruído LCPX a 50, 80 e 100km/h nas Autoestradas A, B e C antes e após intervenção

Comparando os valores com os propostos no ENCPPE2020, verifica-se facilmente que os valores são ultrapassados para pavimentos em serviço, o que se justifica pela idade dos mesmos. Para o pavimento novo, SMA12, constata-se que a 50 km/h o LCPX médio ultrapassa em 2 dB(A) o valor definido, enquanto que nas outras autoestradas este valor também é ultrapassado, mas residualmente. Para as velocidades de 80 e 100 km/h, após efetuada a devida

correção do efeito da velocidade, verifica-se que a mistura adotada proporciona mais cerca de 1 dB(A) em termos médios.

4.2 Análise dos espectros

Na Figura 7 apresenta-se os espectros sonoros para a velocidade de 80 km/h, por sentido (C-crescente, D-decrescente), antes e após intervenção para as 3 autoestradas, e para 100 km/h após intervenção para as autoestradas B e C.

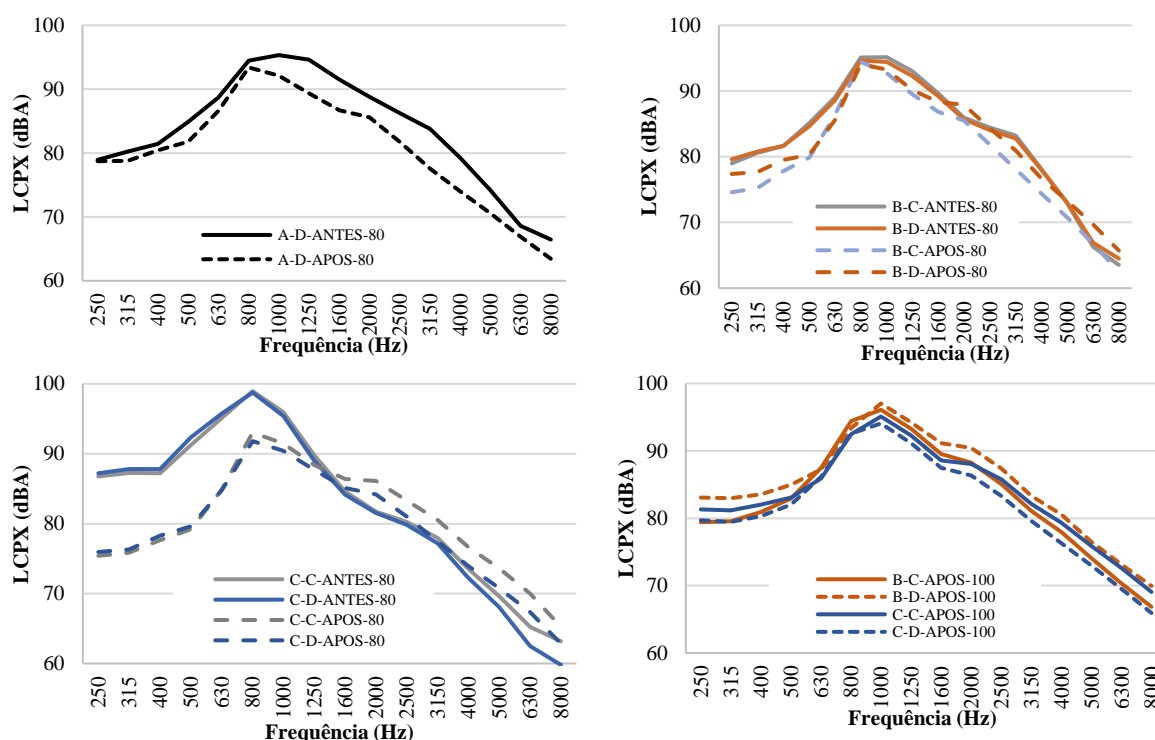


Fig.7. LCPX a 80 km/h nas Autoestradas C, antes e após intervenção

Na Autoestrada A o efeito da alteração da camada de desgaste foi preponderante nas frequências altas, o que significa que a redução de ruído se deveu essencialmente ao favorecimento dos movimentos de ar proporcionados pela textura. Este efeito é oposto ao que se observa para a Autoestrada C, em que após a intervenção há uma redução muito significativa do ruído nas baixas frequências e um pequeno aumento nas frequências altas. A nova camada proporcionou uma redução das vibrações nos pneus e afetou negativamente os mecanismos de movimento de ar resultantes da interação pneu pavimento. No caso da Autoestrada B, o efeito foi mais próximo do da Autoestrada A.

Considerando a velocidade de 100 km/h, por ser mais próxima da velocidade operacional neste tipo de estradas, salienta-se que a variação do ruído em cada frequência, resultante da variabilidade intrínseca das condições de construção, em termos médios, atingiu os 4 dB(A).

5 COMPARAÇÃO DOS METODOS SPB E CPX

Pela análise dos dados obtidos pelos dois métodos, é possível constatar a redução de ruído após a substituição da camada de desgaste pelo SMA12, excetuando os resultados obtidos pelo método SPB para a Autoestrada B que apontam para um ligeiro aumento.

Verifica-se que os resultados de ambos os métodos permitem estabelecer a mesma hierarquia no que respeita à ordenação das autoestradas em função dos níveis de redução de ruído após a substituição da camada de desgaste, concretamente: Autoestrada C, Autoestrada A e Autoestrada B.

De igual forma, verifica-se que existe alguma similitude quanto aos níveis de redução de ruído após a substituição da camada de desgaste nas várias autoestradas que são obtidos pelos 2 métodos, designadamente para os veículos

ligeiros constata-se uma redução de cerca de 3 dB(A) na autoestrada A, 5 dB(A) na autoestrada C e variando entre uma redução de 1,6 dB(A) e um aumento de 1 dB(A) na autoestrada B.

Em termos globais, os resultados obtidos em ambos os métodos, nas Autoestradas B e C, confirmam a diferença de aproximadamente 20 dB(A) para os veículos ligeiros, o que confirma a relação obtida em estudos internacionais [10]. Assim, de uma forma expedita pode-se estimar razoavelmente os níveis de ruído obtidos por uma metodologia em função dos valores medido na outra.

Apenas na análise mais detalhada da redução dos níveis de ruído por gamas de frequência, se verifica uma maior dissonância entre os dois métodos. Efetivamente os resultados do método CPX apontam para que a substituição da camada de desgaste gere uma maior redução dos níveis de ruído nas frequências altas, no caso das autoestradas A e B, e nas baixas frequências, no caso da autoestrada C. Os resultados do método SPB, por seu turno, apontam para que a substituição da camada de desgaste não permita uma redução dos níveis de ruído nas altas frequências em qualquer das autoestradas e que permita uma redução nas baixas frequências, no caso da autoestrada C. Esta observação dever-se-á ao efeito dos veículos pesados que, nesta análise, estão considerados apenas no método SPB e ao efeito da propagação sonora.

6 CONCLUSÕES

Em suma, pela análise dos dados obtidos pelos dois métodos, é possível constatar a redução de ruído após a substituição da camada de desgaste pelo SMA12, excetuando os resultados obtidos pelo método SPB para a Autoestrada B que apontam para um ligeiro aumento.

Por forma a relacionar a redução do ruído verificada com a variação das características superficiais da camada de desgaste do pavimento, haverá ainda que avaliar estas características após a intervenção efetuada, através de medição em contínuo, para comparação dos valores de MPD obtidos antes da intervenção.

Os dois métodos SPB e CPX apontam para níveis de redução de ruído globais gerados, pela substituição da camada de desgaste, semelhantes. Todavia, a análise mais detalhada dos níveis de redução de ruído por frequência já indicia alguma dissonância nos resultados que são obtidos pelos dois métodos, o que resulta do efeito de propagação sonora nos resultados do método SPB. Por conseguinte, afigura-se que a utilização dos dois métodos poderá ser complementar, desde logo porque o método SPB permite a observação da redução dos níveis de ruído numa maior panóplia de tipo de veículos e considera uma maior diversidade de fatores e o método CPX permite caracterizar uma extensão de estrada longa num curto período de tempo.

Para estudos futuros, e para o método SPB identificou-se a necessidade de proceder a uma maior amostragem, atendendo aos pressupostos associados ao método de ensaio.

A análise dos dados resultantes dos métodos CPX e SPB sugeriu que estes métodos podem contribuir para a obtenção de dados de base relativos às características do pavimento para os modelos previsionais de ruído. Esses dados, sendo recolhidos “*in loco*”, deverão ser mais adaptados à realidade e poderão proporcionar a obtenção de modelos mais ajustados às condições existentes [11]. Perspetiva-se, por isso, como um futuro desafio, o desenvolvimento de metodologias para a obtenção dos parâmetros de caracterização dos pavimentos para a sua utilização nos modelos de simulação do ruído, concebendo e delineando os ensaios baseados nos métodos CPX e SPB, desde logo, com esse objetivo, tendo em consideração a tipologia dos pavimentos utilizada na rede operada pela Brisa.

7 REFERÊNCIAS

1. U. Sandberg and E. Jerzy, *Tyre/road noise. Reference book*. Informex, 2002.
2. O. Sirin, *State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements-Part 2: Factors Affecting Tire-Pavement Noise and Prediction Models*, Sustainability, 8(7), 692.
3. S. Ling, F. Yu, D. Sun, G. Sun, and L. Xu, *A comprehensive review of tire-pavement noise: Generation mechanism, measurement methods, and quiet asphalt pavement*, Journal of Cleaner Production, 287, 125056, 2021.
4. A. Santos, *Estudo da eficácia da redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes*, dissertação de mestrado, curso de Mestrado em Engenharia Rodoviária, Universidade do Minho, 2007.

5. M. Antunes, S. Coutinho, J. Patrício, E. Freitas, J. Paulo, J. Coelho, *Avaliação do ruído de Tráfego: Metodologia para a Caracterização de Camadas de Desgaste Aplicadas em Portugal*, Evaluation of Pavement Surfaces Characteristics, Proceedings of the Seminar, pp 137-145, Guimarães, Portugal, 2008.
6. APA, *Critérios de contratação pública ecológica, no âmbito da ENCPE 2020, para Conceção, Construção, Reabilitação e Conservação de Estradas*, Agência Portuguesa do Ambiente, 2020.
7. Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 – Avaliação e gestão do ruído ambiente. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=PT>.
8. Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão de 19 de maio de 2015 - métodos comuns de avaliação do ruído de acordo com a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996&from=IT>.
9. E. Bühlmann and T. Ziegler, *Interpreting measured acoustic performance on Swiss low-noise road surfaces using a tyre/road interaction model*, Proceedings of the Acoustics 2012 Hong Kong, 2012.
10. ROSANNE, *Collaborative Project FP7-SST-2013-RTD-1 Seventh Framework Programme Theme SST.2013.5-3: Innovative, cost-effective construction and maintenance for safer, greener and climate resilient roads*, 2016.
11. F. Anfosso-Ledee and L. Goubert, *The determination of road surface corrections for CNOSSOS-EU model for the emission of road traffic noise*, Universitätsbibliothek der RWTH Aachen, 2019.