

## IMPACTO DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DOS PAVIMENTOS NOS MAPAS DE RUÍDO – CASOS DE ESTUDO

A. McDade<sup>1</sup>, C. Cardoso<sup>1</sup>, E. Freitas<sup>2</sup>, O. Inácio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>InAcoustics – Engenharia Acústica, Vibrações e Ambiente Lda., Portugal  
andré.mcdade@inacoustics.com; clara.cardoso@inacoustics.com; octavio.inacio@inacoustics.com

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal  
efreitas@civil.uminho.pt

### Resumo

Apesar do elevado esforço de desenvolvimento de pavimentos rodoviários de baixo ruído na Europa, este assunto é ainda por vezes tratado sem o rigor adequado, nomeadamente na elaboração de mapas de ruído. Os *software* de simulação numérica utilizados correntemente contêm, por defeito, pavimentos com diferentes características acústicas, mas não necessariamente aqueles que são utilizados nos diferentes países. Este aspecto é ainda mais relevante aquando da calibração de mapas de ruído através de medições *in situ*.

Este trabalho apresenta a aplicação de resultados de medições de ruído de passagem de veículos rodoviários (pass-by noise) para a obtenção da potência sonora associada, a mapas de ruído em diferentes localizações com diferentes tipos de pavimentos. A metodologia e resultados são discutidos com base em simulações no software CADNA-A. Os resultados obtidos demonstram a importância do conhecimento das características específicas do pavimento utilizado para a correcta calibração do mapa de ruído.

**Palavras-chave:** Mapa de ruído, ruído rodoviário, simulação numérica, SPB, CPB.

### Abstract

Despite the effort in developing low-noise road surfaces in Europe, this matter is still regarded without proper detail, in subjects such as calculating noise maps. The most used numerical simulation software deals with this issue well by incorporating different types of road pavements. However, these are not necessarily the ones being used in the different countries. This aspect is further relevant when calibrating noise maps from *in situ* measurements.

This work presents the results of measurements using the SPB and CPB (pass-by noise methods) to calculate the associated sound power, and their application to the calculation of noise maps in different locations and different road surfaces. The methodology and results are discussed based on simulations carried out with CADNA-A software. The results show the importance of the knowledge of the specific characteristics of the road surface used in order to obtain an adequate calibration of noise maps.

**Keywords:** Noise map, traffic noise, numerical simulation, SPB, CPB.

**PACS no.** 43.50.Lj, 43.50.Gf

# 1 Introdução

## 1.1 Ruído rodoviário

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 interação 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 interação pneu/pavimento é predominante [1].

O conhecimento dos mecanismos de geração de ruído, particularmente os relacionados com a interação pneu/pavimento, é fundamental para apoiar a formulação de camadas de desgaste de piso rodoviário à base de misturas betuminosas com propriedades acústicas apropriadas. Estas propriedades são determinadas principalmente pelas características da textura superficial e pela porosidade da camada [1].

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 [2]. 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). Do grupo das camadas silenciosas, as primeiras são muito utilizadas nos países nórdicos, enquanto que as segundas são muito utilizadas em França [2]. 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 [3].

O objectivo da utilização de um modelo de ruído do tráfego é duplo: por um lado, pode ser usado na concepção de novas infra-estruturas rodoviárias, a fim de avaliar o impacto acústico e para evitar a obras pós-construção de redução de ruído que muitas vezes apresentam um maior custo; por outro lado, pode ser usado numa rede de estradas existentes, de modo que a campanha de medições possa ser minimizada e feita a calibração do modelo de cálculo para a situação existente.

A Agência Portuguesa do Ambiente e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto editaram em 2008 um Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído [2], onde é dada alguma informação geral sobre o uso de camadas de desgaste de baixo ruído enquadrada entre várias medidas possíveis. No entanto, apesar de haver vários organismos nacionais e internacionais subsistem as seguintes questões para o interesse de projectistas, como de instituições municipais:

- Os softwares de cálculo de mapas de ruído já contêm os dados da potência sonora de diferentes tipos de pavimento.
- Mas será que têm os dados de um pavimento específico, em Portugal ou noutra local do mundo?
- Será que têm dados de pavimentos desgastados com vários anos de utilização, ou repavimentados?
- Que impacto é que diferentes tipos de pavimento têm nos mapas de ruído?
- Compensa elaborar uma base de dados de pavimentos existentes para ajuda à tomada de decisão nos Planos de Redução de Ruído de cada Município?

O presente artigo apresenta alguns casos de estudo de aplicação dos valores de ensaio de camadas de desgaste num mapa de ruído e qual a sua influência na validação e informação final.

## 2 Métodos de medição e de previsão do ruído rodoviário

### 2.1 Métodos de medição

Os 3 métodos principais, que são habitualmente usados para avaliar a influência do pavimento rodoviário no ruído rodoviário, são [4] e [5]:

- Método de Passagem Controlada (CPB)
- Método Estatístico de Passagem (SPB)
- Método da Proximidade Imediata (CPX)

Todos estes métodos baseiam-se em *standards* ISO e estão descritos mais pormenorizadamente nas secções a seguir.

#### 2.1.1 Método de passagem controlada (CPB)

Neste método o nível de pico de ruído de passagem de um carro é medido por um microfone a pelo menos 1,2m de altura e localizado à distância de 7,5m do centro do pavimento por onde um determinado veículo com um determinado pneu circula. De forma a estudar o ruído dos pneus especificamente a medição é corrigida para a velocidade de circulação do veículo. A superfície do pavimento pode ser molhada de forma a estudar o efeito da chuva no ruído do pavimento. Existem 2 procedimentos de medição o método BRRC usando apenas a passagem de um carro e o procedimento germânico-francês que utiliza a medição de 4 combinações veículo ligeiros/pneu. O método é compatível com o standard ISO 362 e ISO 7188 e pode ser usado para estudar a contribuição dos diferentes factores para os níveis de ruído do veículo [4]. O método CPB não é considerado standard uma vez que os resultados são apenas medidos entre 1 a 4 veículos logo a sua reprodução e representatividade é questionável.

#### 2.1.2 Método estatístico de passagem (SPB)

O set-up da medição de ruído para este método é similar ao método CPB, contudo os veículos cujo ruído é medido circulam livremente no tráfego. O nível de pressão sonora máxima é medido para cada veículo individualmente assim como a sua velocidade de circulação. O nível de ruído medido é representado graficamente versus o logaritmo da velocidade de circulação para diferentes categorias de veículos e é calculada uma linha de regressão que permite caracterizar a categoria do veículo através do ruído médio para cada velocidade. São feitas várias medições para obter uma boa caracterização para cada categoria de veículos. Este método é o standard ISO 11819-1 e está a ser analisado para se tornar um standard europeu de medição que caracteriza o pavimento rodoviário através de um «Statistical Bass-By Index (SPBI)» que é um valor global de como a superfície rodoviária influencia o ruído rodoviário para uma mistura de diferentes categorias de veículos, diferentes velocidades de circulação e pesos de veículos. No entanto, este método tem a limitação de o espaço caracterizado não poder ter superfícies reflectoras, o que na maioria dos casos da medição de tráfego urbano não é real. No entanto o método está a ser desenvolvido de forma a incluir este tipo de espaços. [4] e [5]

#### 2.1.3 Método da proximidade imediata (CPX)

Neste método é usado um ou vários microfones colocados a cerca de 20cm do pneu de um veículo ou reboque para uma medição de *campo próximo* enquanto o veículo se desloca durante pelo menos 200m (ou duas repetições de 100 m ou dez repetições de 20 m) e a 10cm acima do pavimento. É preciso precaução na medição devido a possível influência de turbulência devido ao vento e ruído proveniente do veículo que não seja ruído do pneu. As especificações deste método estão descritas no ISO 11819-2. Este método em relação ao método SPB tem a vantagem de não sofrer influências de reflexões, existentes frequentemente em espaços urbanos, no entanto é menos realista em relação à posição do receptor, uma vez que este está normalmente no *campo afastado*. [4] e [5]

## 2.2 Métodos de previsão do ruído rodoviário

### 2.2.1 Revisão dos vários métodos

O desenvolvimento de modelos de previsão de ruído de tráfego começou há mais de 50 anos com resultados bastante fiáveis, tendo em conta o tipo de veículo, pavimento e distância entre pistas e recetor. Assim, foram sendo desenvolvidos pelo mundo diversos modelos tendo em conta as particularidades de cada país em termos de pavimentos, tipo de veículos e condições atmosféricas [6]. Nos últimos 20 anos foram criados os métodos CoRTN (Reino Unido), RLS90 (Alemanha), RVS 3.02 (Áustria), EMPA97 (Suíça), CRN (Itália), Nord2000 (Dinamarca, Noruega e Suécia) e NMPB (França). No âmbito da revisão de vários métodos de computação para a elaboração de mapas estratégicos de ruído a Comissão Europeia reuniu uma equipa para adaptar, rever e harmonizar esses métodos para uso geral de todos os membros da União Europeia. No entanto não era objetivo produzir um novo método substituto, conforme é demonstrado no documento final [7]

No início de 2002, EC DG Ambiente celebrou um contrato relativo à adaptação e revisão dos métodos de cálculo para mapas estratégicos de ruído. O objectivo deste estudo é o de propor adaptações e revisões dos métodos provisórios para torná-los adequados para mapas estratégicos de ruído em todos os Estados-Membros da UE. Perante a necessidade de resultados do projecto surge o projecto AR-INTERIM-CM que tenta manter-se o mais próximo possível do texto original das edições dos métodos de cálculo existentes e não irá desenvolver novos métodos de cálculo [7].

Em paralelo surge o projeto de pesquisa HARMONOISE/ IMAGINE que visa encontrar novos métodos de cálculo para o tráfego rodoviário e ferroviário “harmonizados” para os vários países da UE.

No que diz respeito ao estudo das camadas de desgaste de pavimentos, o projecto SILVIA “Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control”, estuda a redução sonora no uso de diferentes pavimentos, avaliando o custo/ benefício, condicionantes envolvidas, como integrar esta medida de redução de ruído em conjunto com outras medidas [8]. Este grupo desenvolve também uma integração de toda esta informação para aplicação nos vários estados membros da EU, servindo assim em conjunto com o projecto HARMONOISE/ IMAGINE como referência para o desenvolvimento completo de um novo método de cálculo. Em Portugal, o projecto NOISELESS “Percepção, modelação e redução de ruído através de superfícies de pavimento inovadoras e duráveis” é um projecto baseado na Universidade do Minho e está a ser desenvolvido em cooperação com outras instituições nomeadamente a Universidade de Coimbra e o Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

### 2.3 Modelo francês: NMPB - Routes

Este método foi desenvolvido por diferentes institutos franceses (CSTB, SETRA, LCPC, LRPC) e representa uma atualização do método indicado no “Guide du Bruit” de 1980, tendo em conta condições meteorológicas e distâncias longas (superior a 250m, conforme sugerido na ISO9613).

A directiva Europeia 2002/49/CE sugere o uso do modelo francês “Nouvelle Methode de Prevision de Bruit”, ou simplesmente NMPB-Routes-96 [6]. Dada esta indicação e como é o modelo presente na versão portuguesa dos *software* de cálculo de mapas de ruído, iremos desenvolver em pormenor as principais fórmulas subjacentes.

O tráfego rodoviário, devido às reduzidas dimensões dos veículos automóveis, pode ser modelado por um número de fontes pontuais igual ao número de veículos que nela circulam um nível de potência sonora, ponderado A,  $L_{AW}$ , função da velocidade, tipo de veículo, perfil longitudinal e fluxo de tráfego. Do ponto de vista do recetor uma via de tráfego pode ser modelada como uma fonte linear, que na prática é dividida em vários segmentos elementares que se comportam como fontes pontuais estáticas com uma determinada potência sonora,  $L_{AW}$ . De acordo com a norma NMPB-1996 uma fonte linear é segmentada em fontes pontuais através da seguinte equação:

$$L_{Awi} = L_{AW/m} + \Psi + 10\log(l_i) + R(j)$$

Onde:

- $\Psi$  é a correção de tipo de camada de desgaste de pavimento.  
 $l_i$  é o comprimento do segmento da fonte linear modela por fontes pontuais.  
 $R(j)$  é o valor de espectral para cada banda de oitava  $j$  em análise.  
 $L_{Aw/m}$  é o nível de potência sonora por unidade de comprimento do segmento de estrada dado por:

$$L_{Aw/m} = [E_{lv} + 10 \log(Q_{vl})] \oplus [E_{vp} + 10 \log(Q_{vp})] + 20$$

Onde:

- $E_{vl}$  e  $E_{vp}$  são as emissões sonoras ( $L_{eq}$  por hora) por veículo ligeiro e veículo pesado, respetivamente. Valor para as várias velocidades, tipo de tráfego, conforme ábacos disponibilizados no “Guide du Bruit des Transports Terrestres – prevision des niveaux sonores”, CETUR, 1980. Dados disponíveis em [7].  
 $Q_{vl}$  e  $Q_{vp}$  são os fluxos horários de veículo ligeiros e pesados, respetivamente.  
 $\oplus$  é a soma logarítmica dos 2 termos.

Este método permite calcular um valor de potência emissora sonora de associada a um tipo de veículo, velocidade, tipo de tráfego e inclinação (gradiente) da estrada. É assim calculada uma emissão sonora “standard” para uma superfície considerada “média”. Posteriormente podem ser feitas correções para cada tipo de camada de desgaste conforme indicada na ISO 11819-1.

Tabela 1 – Correção para os diferentes tipos camada de desgaste.

Tipo de camada desgaste	Correção de nível ruído		
	0-60 km/h	61-80 km/h	81-130 km/h
Poroso	-1 dB	-2 dB	-3 dB
Betão liso		0 dB	
Betão rugoso		+2 dB	
Cubo de granito uniforme		+3 dB	
Cubo de granito rugoso		+6 dB	

### 3 Implementação de dados experimentais de pavimentos em mapas de ruído

#### 3.1 Caracterização das camadas de desgaste

As diversas camadas de desgaste foram ensaiadas segundo o método CPB anteriormente descrito. As 6 camadas em análise estão descritas na Tabela 2. Esta variedade permite uma caracterização de alguns dos principais tipos de pavimentos usados em Portugal, bem como em desenvolvimento (caso dos MBA BMB).

Tabela 2 – Identificação das camadas de desgaste em análise.

Cód.	Secção de camada de desgaste	Acrónimo
S2	Mistura Betuminosa Aberta com Borracha (média % de borracha)	MBA
S3	Mistura Betuminosa Aberta com Betume Modificado com Borracha	MBA BMB
S5	Betão Betuminoso Denso	BD
S7	Microaglomerado	McB
S8	Cubos de Granito	CG
S12	Betão Betuminoso Rugoso	BBR

As camadas superficiais foram ensaiadas para 4 velocidades distintas desde os 30 km/h aos 90 km/h permitindo caracterizar o tráfego em meio rural, citadino e sua envolvente. Na Figura 1 é possível observar que as várias camadas têm variações similares à medida que a velocidade aumenta, embora a

diferença de ruído seja ainda maior nas altas velocidades, formando três grupos bem distintos com diferenças entre eles na ordem dos 3 dB(A) nas baixas velocidades e de 8 dB(A) nas altas velocidades.

Foram também efetuados ensaios de absorção sonora às diversas secções de camadas (excepto para os cubos de granito) entre os 400 Hz e os 2000 Hz (Figura 2).

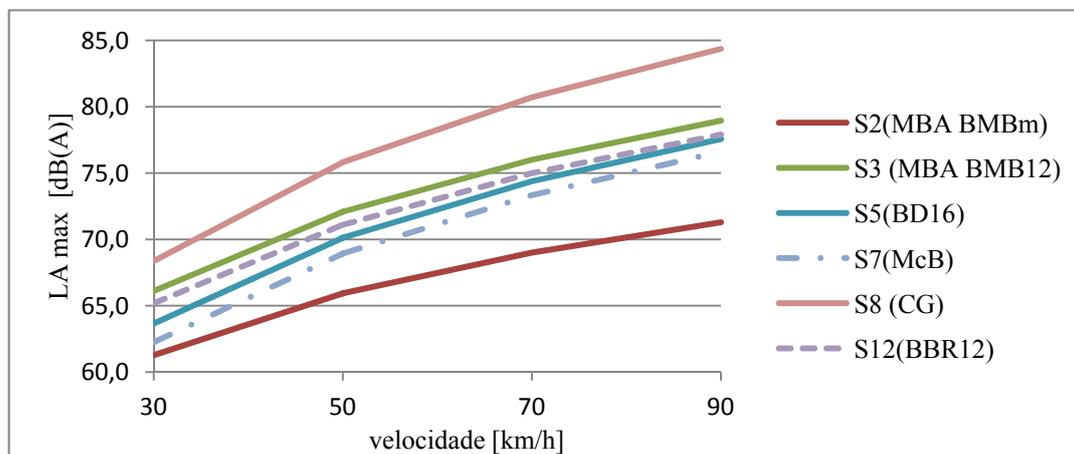


Figura 1 - Nível máximo de ruído, *pass-by level* para os vários tipos de camada de desgaste.

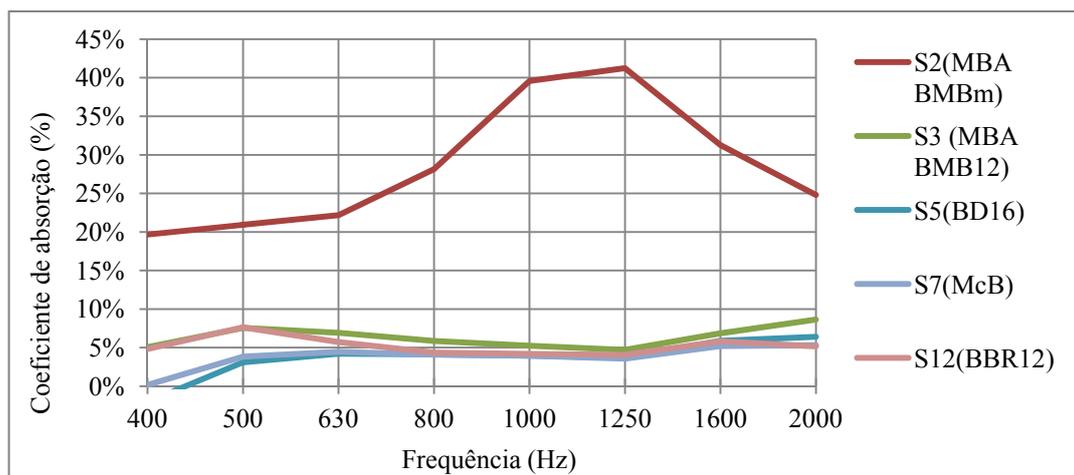


Figura 2 – Absorção sonora das camadas de desgaste.

### 3.2 Cálculo da potência sonora associada às camadas de desgaste

Para o caso de se pretender fazer uma actualização dos valores de emissão (para um dado veículo e camada de desgaste de pavimento) deverão ser utilizados os valores de medições de  $L_{A \max}$  conhecido como “pass-by noise” ou ruído máximo de passagem. As medições deverão ser efectuadas com as variáveis mais influentes contabilizadas (velocidade, tipo de veículo, inclinação da via, condições atmosféricas). Assim, poderá ser usado o método CPB para recolher dados para a passagem de um veículo. De acordo com as especificações do “Guide du Bruit 1980” os valores de emissão e Potência sonora poderão ser obtidos da seguinte forma:

$$E = L_w - 10 \log(v) - 50$$

Onde:

- $v$  é a velocidade (constante) de deslocação do veículo
- $E$  emissão sonora por hora e por veículo
- $L_w$  potência sonora por veículo (aliada a uma fonte omnidirecional) obtido a partir da medição do  $L_{Amax}$

$$L_w = L_{Amax} + 20 \log \sqrt{7.5^2 + 1.2^2} + 10 \log(2\pi)$$

Será usado o software computacional Cadna-A v3.5.115, com o módulo de cálculo de ruído rodoviário NMPB –Routes-96. Efectuou-se uma comparação entre os tipos de pavimento ensaiados e os fornecidos no software. O gráfico da Figura 4 ilustra a comparação entre os vários pavimentos, quanto à sua potência sonora emitida por unidade de comprimento e por veículo. O software permite o cálculo do nível de ruído de passagem, ou *pass-by level*. Foi possível verificar que os valores de potência sonora específica obtidos pelo método analítico, quando introduzidos como valores de entrada para o cálculo do ruído de passagem, apresentam resultados com um erro máximo de 0,6 dB, conforme é possível observar para o caso indicado na Figura 3 (camada S12 @70 km/h). Esta diferença, apesar de ser praticamente negligenciável poderá ser explicada pelo facto do método usado no cálculo do ruído de passagem estar referido à norma alemã RLS90.

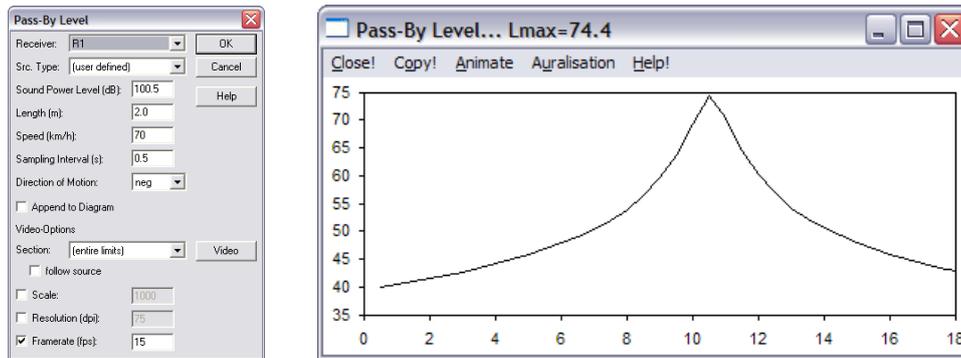


Figura 3 – Cálculo do nível de ruído de passagem no Cadna-A para a amostra S12 a 70 km/h.

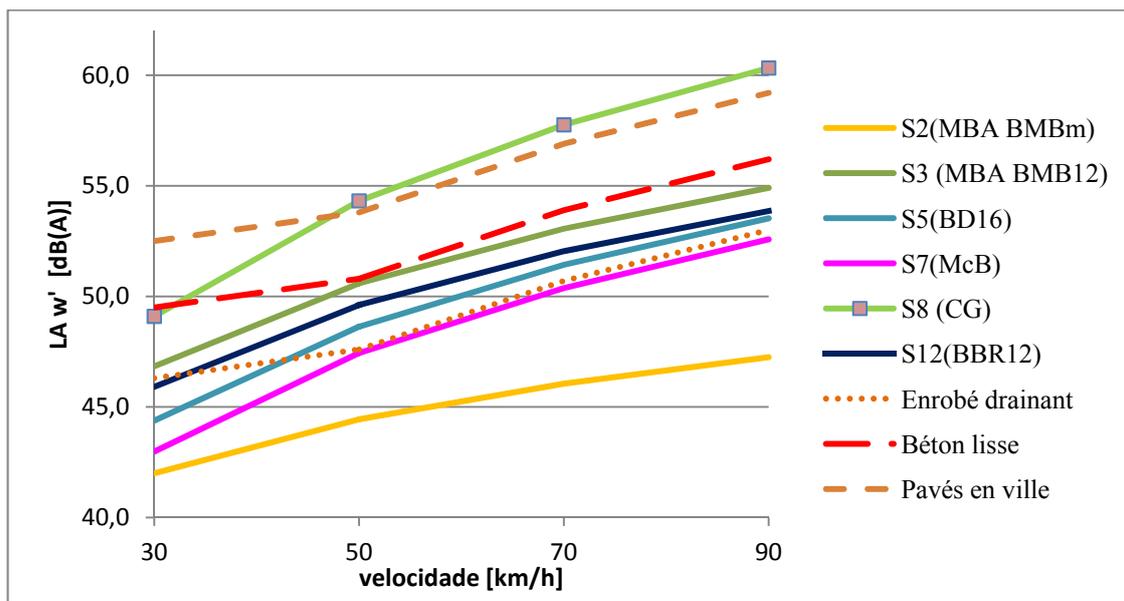


Figura 4 – Potência sonora associada às diversas camadas desgaste ensaiadas e presentes no Cadna-A (em francês).

Tabela 3 – Valores de emissão sonora para as camadas de desgaste ensaiadas.

Secção	Velocidade (km/h)	Ruído Passagem $L_{Amax}$ (dBA)	Potência $L_w$ (dBA)	Emissão (Leq/vei/h) $E_{lv}$ (dBA)	Volume tráfego (n/hour) $Q_{lv}$	Potência específica $L_{Aw'}$
S2(MBA BMBm)	30	61,3	86,8	22,0	1	42,0
S3 (MBA BMB12)		66,1	91,6	26,8	1	46,8
S5(BD16)		63,7	89,2	24,4	1	44,4
S7(McB)		62,3	87,8	23,0	1	43,0
S8 (CG)		68,4	93,9	29,1	1	49,1
S12(BBR12)		65,2	90,7	25,9	1	45,9
S2(MBA BMBm)	50	65,9	91,4	24,4	1	44,4
S3 (MBA BMB12)		72,1	97,6	30,6	1	50,6
S5(BD16)		70,1	95,6	28,6	1	48,6
S7(McB)		68,9	94,4	27,4	1	47,4
S8 (CG)		75,8	101,3	34,3	1	54,3
S12(BBR12)		71,1	96,6	29,6	1	49,6
S2(MBA BMBm)	70	69,0	94,5	26,0	1	46,0
S3 (MBA BMB12)		76,0	101,5	33,1	1	53,1
S5(BD16)		74,4	99,9	31,4	1	51,4
S7(McB)		73,3	98,8	30,4	1	50,4
S8 (CG)		80,7	106,2	37,8	1	57,8
S12(BBR12)		75,0	100,5	32,0	1	52,0
S2(MBA BMBm)	90	71,3	96,8	27,2	1	47,2
S3 (MBA BMB12)		79,0	104,5	34,9	1	54,9
S5(BD16)		77,6	103,1	33,5	1	53,5
S7(McB)		76,6	102,1	32,6	1	52,6
S8 (CG)		84,4	109,9	40,3	1	60,3
S12(BBR12)		77,9	103,4	33,9	1	53,9

### 3.3 Exemplos de aplicação

Apresentam-se de seguida 2 casos em que o conhecimento dos valores de emissão sonora das camadas de desgaste foi preponderante como meio para obtenção de resultados satisfatórios. No primeiro caso estes valores são utilizados como passo inicial num plano de redução de ruído industrial para resolução de incomodidade. No segundo caso o conhecimento detalhado das camadas de desgaste é utilizado num passo final, servindo para decisão de qual o tipo de pavimento a utilizar na requalificação arquitectónica de duas praças de uma cidade.

#### 3.3.1 Calibração de mapa de ruído com dados de tráfego existentes

No estudo efectuado para solução de um problema de incomodidade sonora causado por ruído industrial foi necessário fazer a modelação de todas as variáveis relevantes para se conseguir caracterizar a situação actual e a partir daí puder dimensionar soluções a implementar (Figura 5). Para uma calibração do mapa de ruído foram caracterizadas as principais fontes de ruído: equipamentos industriais, bem como estradas e arruamentos da envolvente. Para isso foram escolhidos pontos estratégicos para caracterizar o ruído da envolvente e em particular do ruído rodoviário (para além dos receptores sensíveis onde se verifica incomodidade). Nesses pontos foram feitas contagens de tráfego e velocidade de passagem. A morfologia do terreno e implantação de área construída foi também inserida no modelo. Conseguiu-se assim uma primeira calibração bastante próxima das várias medições de ruído efectuadas, conforme é possível observar na Tabela 4 (verifica erro médio da simulação A). Contudo, o ponto P2 apresentava um desvio de 2 dB(A), o qual, sendo um dos receptores críticos na situação de incomodidade torna-se um erro demasiado grande.

Foi assim necessário fazer uma identificação do tipo de pavimento mais pormenorizada, incluindo o estado de conservação ou mesmo existência de areia e gravilha depositados, em alguns casos. Ao introduzir os valores de emissão sonora associadas a cada tipo de camada superficial de pavimento verificou-se uma alteração grande nos resultados, (algumas diferenças relativamente às medições passaram de positivas a negativas e vice-versa). No entanto foi possível baixar o erro médio, sobretudo junto aos receptores críticos P2 e P3.

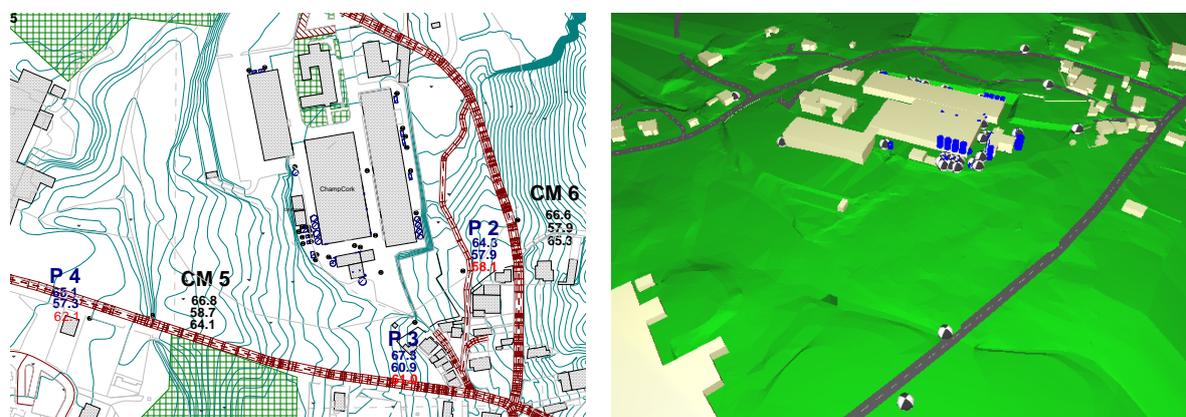


Figura 5 – Modelo de cálculo para caracterização de zona envolvente a uma unidade fabril.



Figura 6 – Inspeção do tipo de camada de desgaste e estado de conservação.

Tabela 4 – Resultados de calibração do mapa de ruído.

Tipo de resultados		$L_d$ em dB(A) para cada ponto receptor										
		P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Medição	Valor	55,8	60,1	61,5	55,8	65,0	54,0	65,7	62,1	64,4	66,2	66,3
Simulação A*	Valor	59,9	58,1	60,9	57,3	64,7	54,5	64,9	62,0	62,4	65,3	65,1
	Desvio	4,1	2,0	0,6	1,5	0,3	0,5	0,8	0,1	2,0	0,9	1,2
	Desvio Médio	1,3										
Simulação B <sup>+</sup>	Valor	56,9	59,6	61,2	57,5	64,7	54,5	66,2	62,0	64,3	65,3	66,8
	Desvio	1,4	0,5	0,3	1,7	0,3	0,5	0,5	0,1	0,1	0,9	0,5
	Desvio Médio	0,6										

\* sem conhecimento detalhado das camadas de desgaste

+ após conhecimento do tipo de camada de desgaste e estado de conservação

### 3.3.2 Mapa de ruído estratégico

Muitas cidades estão a fazer reestruturações das suas centrais com vista a melhorar a qualidade arquitectónica, acessibilidade, tráfego. Dado que muitas dessas zonas pretendem também um aumento da qualidade de usufruto (tanto transeuntes como habitantes da envolvente), os níveis de ruído são também considerados nos processos de escolha (fluxo de tráfego, estacionamento, limites de velocidade

e tipo de pavimento). Torna-se assim importante, em conjunto com os diversos membros de uma equipa de projecto, equacionar as zonas onde será vantajoso o uso de pisos mais silenciosos ou simplesmente efectuar obras de restauro/ melhoramento de piso degradado. Há também casos onde é conveniente o uso de pavimentos “ruidosos”, tais como zonas próximas de passagem de peões.

Apresenta-se de seguida um exemplo de aplicação na requalificação das praças Numa-Droz e Numa-Port (zona á beira-lago) e sua envolvente na cidade de Neuchâtel, Suíça (Figura 7). Além da eliminação de uma parte de uma avenida, é proposta uma reordenação dos sentidos de tráfego e a criação de pequenas vias para autocarros e de acesso a parques de estacionamento subterrâneos. Foi assim verificada qual a diminuição dos níveis de ruído causada por estas medidas, mas também equacionada a hipótese da colocação de camada de desgaste de pavimento de baixo ruído.

Conforme é possível observar pela Tabela 5 Figura 8 e os vários receptores apresentam resultados muito variáveis consoante o tipo de camada de desgaste aplicada, bem como o diferencial de potência sonora que caracteriza cada uma dessas camadas traduz-se num nem diversos valores do parâmetro  $L_d$  para os vários receptores. De facto esta diferença entre diversos pisos e receptores torna o mapa de ruído uma peça fundamental na análise e decisão da camada a aplicar.

Um dos resultados de particular interesse pode-se observar no gráfico da Figura 8. Os valores de nível de ruído são bem distintos para os vários receptores e tipos de camada de desgaste excepto para os pontos M5 e H. No ponto M5 a diferença é mesmo nula dado que este ponto se situa um pouco afastado da zona de intervenção. O ponto H apesar de estar muito próximo da zona de intervenção (zona este da praça Numa-Port) sofre a influência da avenida que ali começa.



Figura 7 – Estradas de intervenção para uso de camadas de desgaste de pavimento.

Tabela 5 – Resultados do indicador de ruído diurno  $L_d$  nos vários receptores.

Receptor	Camadas de desgaste										
	S2	S3	$\Delta^*$	S5	$\Delta^*$	S7	$\Delta^*$	S8	$\Delta^*$	S12	$\Delta^*$
M2	<b>58,6</b>	63,9	5,3	62,2	3,6	61	2,4	67,4	8,8	63	4,4
M3	<b>62,6</b>	66,6	4	65,1	2,5	64,2	1,6	69,9	7,3	65,8	3,2
M4	<b>59</b>	65,1	6,1	63,2	4,2	62	3	68,8	9,8	64,2	5,2
M5	<b>78,4</b>	78,4	0	78,4	0	78,4	0	78,4	0	78,4	0
A	<b>61,9</b>	66	4,1	64,6	2,7	63,7	1,8	69,3	7,4	65,2	3,3
B	<b>55,6</b>	60,1	4,5	58,3	2,7	57,6	2	63,5	7,9	59,3	3,7
C	<b>59,5</b>	65,3	5,8	63,4	3,9	62,3	2,8	69	9,5	64,4	4,9
D	<b>59,1</b>	64,4	5,3	62,5	3,4	61,5	2,4	67,9	8,8	63,4	4,3
E	<b>60,3</b>	66,2	5,9	64,3	4	63,1	2,8	69,8	9,5	65,2	4,9
F	<b>57,1</b>	63,2	6,1	60,5	3,4	59,5	2,4	65,8	8,7	62	4,9
G	<b>61</b>	64,9	3,9	63,5	2,5	62,7	1,7	68	7	64,2	3,2
H	<b>65,6</b>	67,4	1,8	66,7	1,1	66,4	0,8	69,5	3,9	67,1	1,5
I	<b>57,9</b>	60,3	2,4	59,3	1,4	58,9	1	62,7	4,8	59,8	1,9

\* Diferencial calculado em relação à camada S2

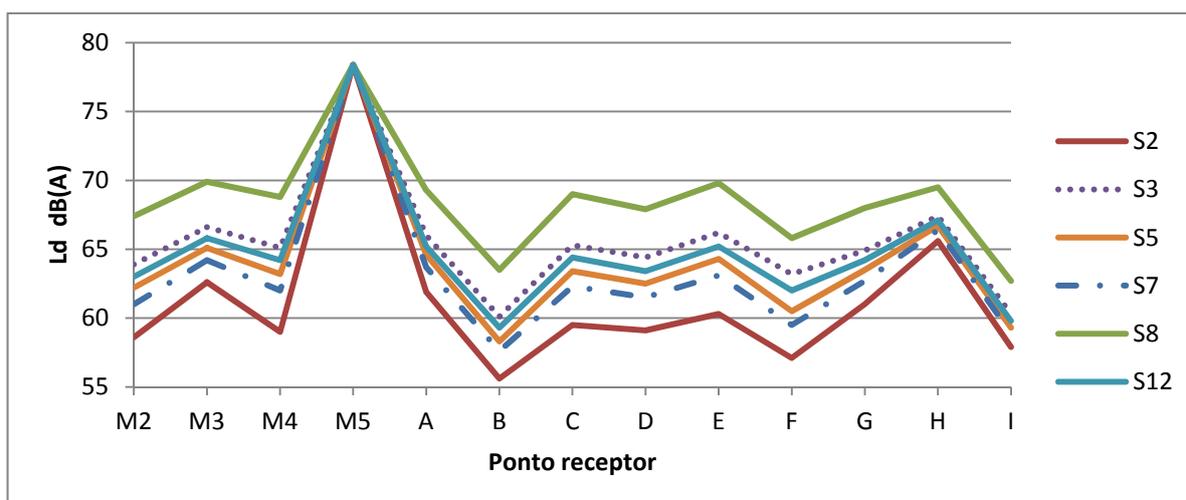


Figura 8 – Representação gráfica do indicador de ruído diurno  $L_d$  nos vários receptores.

Através da análise da Figura 9 é possível concluir que na praça Numa-Port (envolvente ponto I) as diferenças entre uso de camadas silenciosas não é tão notório (1 a 2 dB), explicando-se pelo afastamento às vias de tráfego circundantes, bem como a presença (a Este) da avenida com tráfego acelerado/ desacelerado.

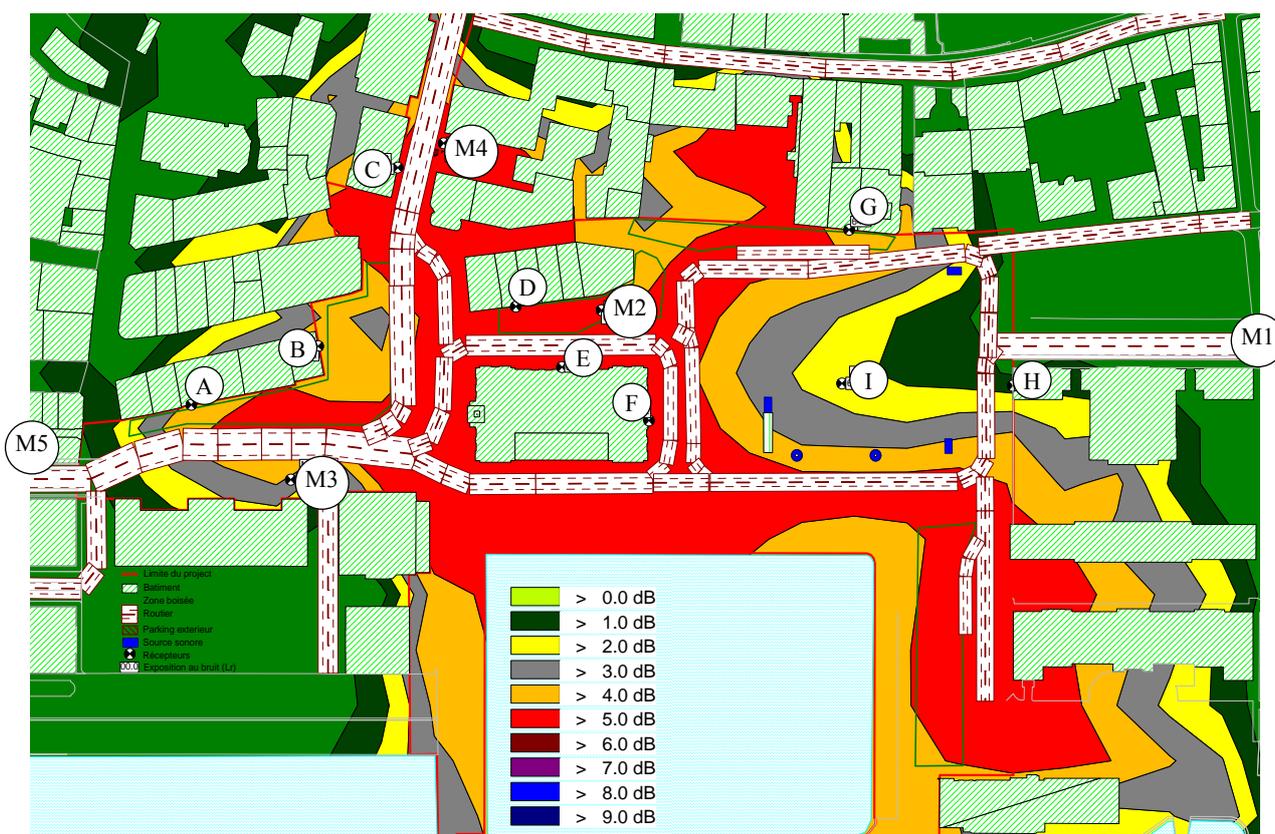


Figura 9 – Mapa de ruído diferencial entre o uso das camadas S2 e S3.

## 4 Conclusões

Os *software* de modelação que usem a norma NMPB-Routes-96 têm a sua base de dados com medições desactualizadas quanto aos pavimentos, bem como automóveis. O uso de dados referentes a ensaios recentes permite obter valores mais próximos da realidade actual.

Por outro lado, a utilização de valores de emissão sonora de camadas superficiais ensaiadas, permite reduzir o erro na calibração de mapas de ruído (mapas para resolução de incomodidade pontual ou mapas estratégicos de ruído). Sendo o ruído rodoviário umas das principais fontes sonoras presentes em meio habitacional, o refinamento da calibração de um mapa de ruído com estes valores é crucial para se obterem conclusões optimizadas. É possível criar uma base de dados para camadas de desgaste correntes em Portugal ou mesmo verificáveis *in situ*;

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 fonte de geração de ruído. No entanto, conforme demonstrado no estudo presente, estas camadas podem ser aplicadas também em ambiente urbano, especialmente em zonas com alta densidade de arruamentos. Com a informação disponibilizada pelo mapa de ruído é possível avaliar a eficácia do uso de diversas camadas superficiais, servindo de apoio à tomada de decisão entre várias medidas de redução de ruído.

## 5 Referências

- [1] Freitas, E. *Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído*. "Engenharia civil. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil. ISSN 0873-1152. 30 (2008) 21-32.
- [2] Oliveira, A., Rocha, C. *Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*, FEUP, Agência Portuguesa do Ambiente, ISBN: 978-972-8577-42-1, Abril 2008.
- [3] 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.
- [4] Sandberg, U. *Measurement of Noise Characteristics of Road Surfaces*, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), 58195 Linköping, Sweden
- [5] Descornet, G., Goubert, L. *DG-ENV Noise Classification Road Pavements, Task 1 Report 05*, European Commission, Directorate-General Environment, 2006.
- [6] J. Quartieri, N. E. Mastorakis, G. Iannone, C. Guarnaccia, S. D'Ambrosio, A. Troisi, TLL Lenza, *A Review of Traffic Noise Predictive Models*, Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on "Applied and Theoretical Mechanics" (MECHANICS'09), Puerto De La Cruz, Canary Islands, Spain, December 14-16, 2009. ISBN: 978-960-474-140-3 / ISSN: 1790-2769.
- [7] AR-INTERIM-CM, *Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping*, Final Report, 2003.
- [8] SILVIA (2006). *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. Report.Forum of European National Highway Research Laboratories. Brussels. Belgium