

MODELAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO - CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL CIRCULANTE EM PORTUGAL

PACS: 43.28.Js

Gonçalves D.^{1,2}; Lopes S.M.^{1,2}; Pinho P.G.^{1,2}

¹Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Campus Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal

²MONITAR, Lda, Viseu, Portugal
Ppauloestv.ipv.pt

ABSTRACT

The characterization of the noise emitted by rolling stock in Portugal was performed. It was obtained the equivalence with the rolling stock categories expressed in the RMR 96/SMR II standard, recommended in the 2002/49/CE Directive of the European Parliament and of the Council to use in noise maps.

Field monitoring campaigns results are presented in order to characterize the rolling stock that operates at national level, including passenger trains, such as urban trains, intercity trains, regional and high speed trains. It is also presented the equivalence with railway units of RMR 96/SMR II standard base categories.

RESUMO

No presente estudo foi efetuada a caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário circulante em Portugal e obtida a equivalência com as categorias de material circulante expressas no método RMR96/SMR II, recomendadas na Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho para a elaboração de mapas de ruído.

São apresentados os resultados das diversas campanhas de caracterização do material circulante a operar em Portugal, nomeadamente, comboios de transporte de passageiros urbanos, intercity, regionais e de alta velocidade e é apresentada a sua equivalência com unidades ferroviárias das categorias base do método RMR96/SMR II.

INTRODUÇÃO

O enquadramento legislativo português relativo ao ruído ambiente é dado pelo Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho [1] que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE [2], do Parlamento

Europeu e do Conselho, assim como pelo Decreto-Lei n.º9/2007, de 17 de Janeiro [3], que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR). A circulação ferroviária é enquadrada pelo artigo 19.º do RGR, relativo às infraestruturas de transporte, e obriga as grandes infraestruturas de transporte ferroviário (mais de 30000 passageiros de comboios por ano) a realizarem mapas estratégicos de ruído e planos de ação. Ainda no que diz respeito à legislação em vigor, o Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho, recomenda o método “*Standaard-Rekenmethode II*” (designado abreviadamente por RMR 96/SMR II) dos Países Baixos, publicado na “*Reken – Meetvoorschrift Railverkeerslawaal’96*, Ministerie Volkshulvesting, Ruimtellijke Ordening en Milleubeheer, 20 de Novembro de 1996”, para modelação de ruído ferroviário.

Este método é bastante completo, principalmente devido ao facto do modelo de emissão e propagação ser espectral e devido às possibilidades de correção de efeitos acústicos encontrados nas situações reais. No entanto, a base de dados do material circulante, embora abranja classes relativas a todo tipo de material circulante, à energia motriz, ao uso e à velocidade, esta foi desenvolvida com base no material circulante dos Países Baixos.

As características de cada uma das categorias são as seguintes [4]:

- Categoria 1: comboios de passageiros com freios de cepos;
- Categoria 2: comboios de passageiros com freios de discos e freios de cepos;
- Categoria 3: comboios de passageiros com freios de discos;
- Categoria 4: comboios de mercadorias com freios de cepos;
- Categoria 5: comboios Diesel com freios de cepos;
- Categoria 6: comboios Diesel com freios de discos;
- Categoria 7: metros e elétricos rápidos com freios de discos;
- Categoria 8: comboios interurbanos e comboios de baixa-velocidade com freios de discos;
- Categoria 9: comboios de alta velocidade com freios de discos e freios de cepos.

O presente estudo teve como objetivo obter uma equivalência entre vários tipos de material circulante a operar em Portugal e as categorias descritas na norma RMR 96/SMR II por forma facilitar a sua utilização na elaboração de Mapas de Ruído em Portugal complementando o estudo de Alarcão, D. e Coelho, J., 2008 [5].

CASO DE ESTUDO

Metodologia utilizada, equipamento de medição e locais de medição

Para a recolha de dados de ruído proveniente do transporte ferroviário foi seguida a metodologia definida na norma ISO 3095 [6]. Nos locais de medição, o sonómetro foi colocado a $\pm 1,2$ m de altura do solo e, sempre que possível, a 7,5 m do eixo da linha ferroviária, com o microfone virado na direção linha. As medições foram realizadas em *logging*, de 1 s em 1 s, sendo que foram considerados todos os dados de ruído medidos durante o tempo de passagem e os valores antes e após a passagem até uma diferença inferior a 10 dB(A) abaixo do menor nível medido durante o tempo de passagem. Aquando da passagem das composições ferroviárias foram também recolhidos dados respeitantes à sua velocidade e número de carruagens. Foram também recolhidos dados meteorológicos, tipo de solo e tipo de estrutura ferroviária, nomeadamente no que diz respeito ao balastro, dormentes e tipo de carril. Na Tabela 1 são apresentadas as características associadas a cada local de medição. Para a recolha de dados foi utilizado um sonómetro integrador de classe 1 e com filtros de oitava.

Foram calculados os níveis sonoros contínuos equivalentes de passagem L_{Aeq, T_p} e para uma hora $L_{Aeq, 1h}$, para cada banda de oitava. A modelação foi efetuada com o software comercial de modelação IMMI (Wölfel Meßsysteme Software GmbH + Co. KG) utilizando o modelo RMR 96/SRM II.

Tabela 1 - Características associadas a cada local de medição.

Local	Linha/Freguesia	Coordenadas	Balastro/Carris/Dormentes	Altura do sonómetro (m)	Distância do sonómetro ao eixo da linha (m)
L1	Norte/Cacia	40° 40' 44.21 N 8° 36' 23.80 O	Brita; Barra longa soldada; Betão monobloco;	1,2	7
L2	Norte/Quintãs	40° 34' 54.01 N 8° 36' 28.17 O		1,2	7 e 10,5 (dependendo da linha ferroviária)
L3	Sintra/Sintra	38°47'57.22"N 9°21'14.55"O		1,2 (3 em relação aos carris)	10,5
L4	Cascais/S. Pedro do Estoril	38°41'47.90"N 9°22'38.95"O	Brita; Barra longa soldada; Madeira;	1,2	7,5
L5	Norte/Alverca	38°53'52.26"N 9° 1'32.43"O	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco;	1,2	7

Material circulante analisado

Na Tabela 2 são apresentadas as principais características do material circulante analisado que poderão influenciar a emissão de ruído.

Tabela 2 - Características do material circulante analisado.

Material circulante	Velocidade máxima (Km/h)	Peso (ton.)	Comprimento (m)	Nº veículos	Nº bogies	Tipo de freio
Série 4000 (Alfa Pendular)	220	- Tara: 298; - Em carga normal: 324;	158,9	6	12 - Tração distribuída;	100% discos;
Série 5600 (Intercidades)	220	87	20,44	1	2 - 2 bogies motores;	100% cepos;
Carruagens Intercidades (Corail e Sorefame)	200	- Tara: 44; - Em carga normal: 48;	26,4 / 26,62	1	2 - 2 bogies livres;	Todos os rodados têm freio de disco e de cepo nas rodas;
Série 2240 (Regional)	120	- Tara: 136; - Em carga normal: 166;	70,5	3	6 - 2 bogies motores; - 4 bogies livres;	100% discos;
Série 3400 (Urbano)	140	- Tara: 118; - Em carga normal: 149;	66,8	4	5 - 3 bogies motores; - 2 bogies livres;	100% discos;
Série 2300/2440 (Urbano)	120	- Tara: 180; - Em carga normal: 225;	95,59	4	8 - 4 bogies motores;	50% discos (rodados livres) e 50% cepos (rodados motores);
Série 3150 (Urbano)	90	- Tara: 118; - Em carga normal: 147;	59,34	3	6 - 2 bogies motores;	100% cepos;
Série 3250 (Urbano)	90	- Tara: 147; - Em carga normal: 186;	78,94	4	8 - 2 bogies motores;	100% cepos;
Série 3500 (Urbano)	140	- Tara: 225; - Em carga	106,6	4	8 - 4 bogies	- Rodados motores: discos e

		normal: 287;			motores;	cepos nas rodas; Rodados livres: discos;
--	--	--------------	--	--	----------	--

RESULTADOS

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das medições realizadas nos diferentes locais de medição e diferente material circulante. Em formato gráfico, na **Figura 1**, são apresentados os espectros de frequências para as várias passagens de comboios.

Tabela 3 - Nível sonoro contínuo equivalente 1h calculado com base nos dados medidos para uma passagem de comboio.

Material circulante	Local de medição/ ID medição	Velocidade (Km/h)	L _{Aeq} 1 hora (dB (A))
Urbanos UQE Série 3400	L1/32	70	48,7
	37	70	47,7
	41	70	48,4
	47	70	47,6
	63	70	48,9
Intercidades Série 5600 + carruagens	L2/67	130	68,8
	94	164	70,8
	101	174	69,9
	109	167	71,5
Regionais UTE Série 2200	L2/69	119	54,4
	81	110	53,7
	87	101	54,2
	91	105	53,8
	93	98	54,0
	96	104	53,7
Alfa Pendular Série 4000	L2/73	163	63,6
	79	163	63,7
	89	163	63,9
Urbanos UQE Série 2300/2400	L3/113	86	63,8
	116	85	63,6
	118	96	64,7
	122	86	63,6
	127	95	64,6
Urbanos UQE + UTE Série 3100/3200	L4/134	60	59,2
	136	60	59,7
	138	62	59,3
	140	63	59,3
	142	63	59,2
Urbanos UQE Série 3500	L5/147	80	52,2
	151	98	52,3
	156	86	49,6
	158	103	50,5

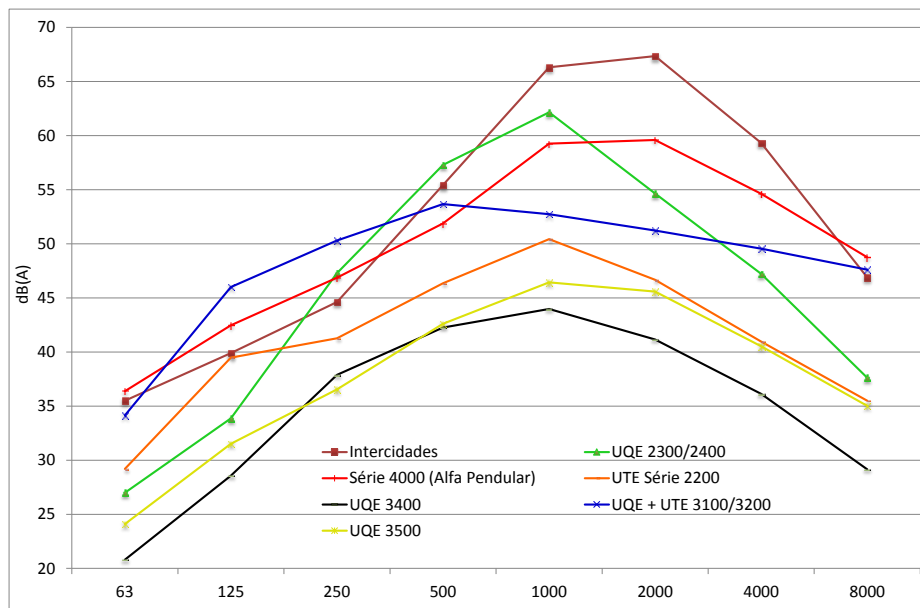


Figura 1 - Nível sonoro contínuo equivalente 1h calculado com base nos dados medidos para uma passagem de comboio, por banda de oitava.

Na análise da equivalência das categorias, o primeiro passo foi efetuar a correspondência entre as categorias descritas na norma RMR 96/SMR II e os materiais circulantes em Portugal de acordo com as características fornecidas pela empresa Rede Ferroviária Nacional – REFER, EPE. Posteriormente foi efetuado um ajuste, quando necessário, à categoria atribuída (ajuste do espectro ou um factor multiplicativo do número de unidades para um melhor ajuste do valor total).

Relativamente ao material circulante avaliado, este apenas poderá ter equivalência nas categorias C1, C2, C3, C8 e C9, estando as outras categorias excluídas devido ao facto de serem comboios de mercadorias (C4), ou utilizarem combustível diesel (C5 e C6) ou serem metros ou elétricos rápidos (C7).

Na **Tabela 4** são apresentadas as equivalências selecionadas com base nos seguintes critérios: energia motriz; tipo de travões; e velocidade.

Tabela 4 – Equivalência do material circulante estudado e a categoria RMR 96/SMR II.

Material circulante	Cat. RMR 96/SMR II
Intercidades (LOC 5600 + 5 carruagens (Corail/Sorefame))	C2
UQE 2300/2400	C2
Série 4000 (Alfa Pendular)	C9a (motor) + C9b (carruagens)
UTE Série 2200	C3 ou C8
UQE 3400	C3 ou C8
UQE + UTE 3100/3200	C1
UQE 3500	C2 ou C8

Na Figura 2 são apresentados os espectros de emissão, em bandas de oitava, de cada uma das categorias da norma RMR 96/SMR II considerando o sistema de travagem desativado (non braking train), a classe bb1 relativamente aos elementos da linha e considerada uma velocidade de 100 km/h. A classe bb1 corresponde a barras sem junções colocadas sobre blocos de cimento (mono bloco ou bi-bloco) sobre balastro.

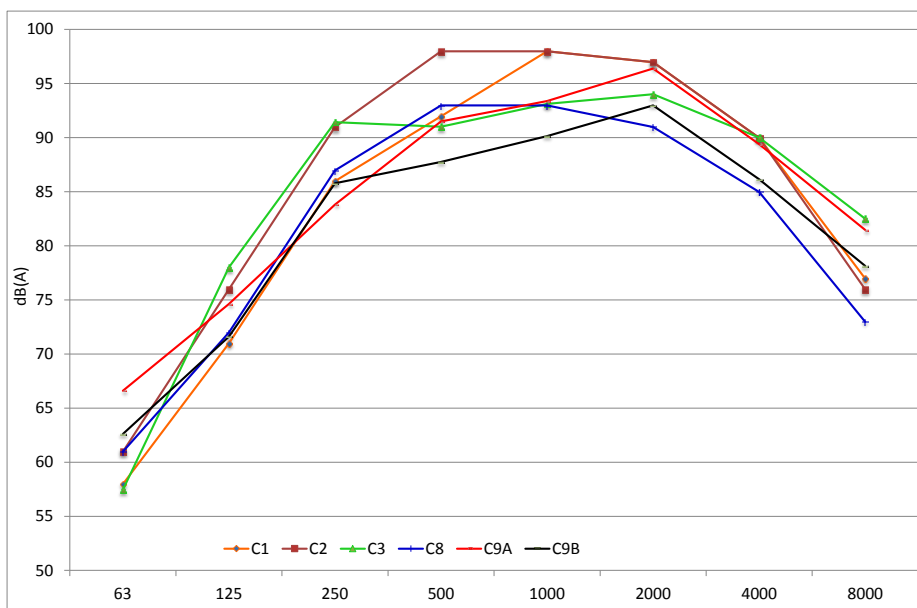


Figura 2 - Espectro em bandas de oitava para cada uma das categorias da norma RMR 96/SMR II.

De acordo com o método de cálculo RMR 96/SMR II para comboios integrados, um comboio corresponde a uma unidade. No caso de comboios possuindo uma locomotiva e um conjunto de carruagens a locomotiva e as carruagens são consideradas como unidades individuais. O intercidades não é um comboio integrado sendo normalmente constituído por uma locomotiva e 5 carruagens, ou seja 6 unidades. O alfa pendular tem equivalência com a categoria C9 que tem uma subdivisão em carruagem com o motor, C9A, e carruagem de passageiros, C9B, sendo considerada cada carruagem uma unidade. O restante material circulante estudado refere-se a comboios integrados, sendo a equivalência de 1 unidade.

Os valores obtidos por modelação comparados com os valores medidos por tipo de material circulante são apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Resultados obtidos por modelação comparados com os medidos por tipo de material circulante.

Material circulante	Cat.RMR 96/SMR II	Unidades inseridas no modelo	Unidades previstas	Razão	LAeq modelado (dB (A))	LAeq medido (dB (A))	Diferença (dB (A))
Intercidades (LOC 5600 + 5 carruagens (Corail/Sorefame))	C2	12	6	2	71,0	70,4	- 0,6
Série 4000 (Alfa Pendular)	C9a	2	2	1	61,8	63,7	1,9
	C9b	4	4	1			
UTE Série 2200	C3	1,5	1	1,5	53,5	53,8	0,3
	C8	3	1	3	54,7	53,8	- 0,9
UQE 3400	C3	1	1	1	49,0	48,2	- 0,8
	C8	2	1	2	49,7	48,2	- 1,5
UQE 2300/2400	C2	16	1	16	64,6	64,1	- 0,5
UQE + UTE 3100/3200	C1	7	1	7	59,6	59,3	- 0,3
UQE 3500	C2	0,35	1	0,35	51,7	51,3	- 0,4
	C8	1	1	1	51,3	51,3	0

Verifica-se assim uma equivalência de 1:1, para os seguintes casos: o alfa pendular com a categoria C9; a UQE 3400 com a categoria C3 e a UQE 3500 com a categoria C8. Relativamente às unidades UQE 2300/2400 e UQE + UTE 3100/3200 verificou-se a necessidade de um ajuste significativo para se obter um resultado adequado na modelação.

CONCLUSÃO

O estudo caracterizou o material circulante para o qual não foram encontrados dados publicados relativos a sua indexação às categorias do método RMR 96/SRM II, designadamente para: UTE 2200; UQE 3400; UQE 2300/2400 e UQE + UTE 3100/3200. Permitiu ainda reforçar algumas das conclusões obtidas no estudo de Alarcão, D.; Coelho, J. (2001), nomeadamente a relação de equivalência do alfa pendular com a categoria C9. Relativamente à UQE 3500 os resultados obtidos no presente estudo são bastante díspares dos obtidos no estudo de Alarcão, D.; Coelho, J. (2001).

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Decreto-lei n.º 146/2006. D.R. Série I. 146 (31 de Julho de 2006). 5433-5441
- [2] - Diretiva 2002/49/CE. Jornal das Comunidades Europeias L189 (18 de Julho de 2002) 12-26
- [3] - Decreto-lei n.º 9/2007. D.R. Série I. 12 (17 de Janeiro de 2007). 389-398
- [4] - Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co. AR-INTERIM-CM. Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping. WP 3.2.1: Railway Noise - Description of the calculation method. Calculation and measurement guidelines for rail transport noise 1996- Translation. 2001
- [5] - Alarcão, D.; Coelho, J. – Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário. Acústica. Coimbra. 2008.
- [6] ISO, International Standard 3095: Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles. 2005.