

Daniel António Fonseca Gonçalves

Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário -  
Caracterização do Material Circulante em Portugal





Daniel António Fonseca Gonçalves

Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário -  
Caracterização do Material Circulante em Portugal

**Relatório de Estágio**  
Mestrado em Tecnologias Ambientais

Professor Doutor Paulo Gabriel Fernandes de Pinho





Aos meus pais, irmãos e amigos.



## RESUMO

O presente estudo realizou-se no âmbito do estágio curricular inserido no curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. O estágio foi realizado no período compreendido entre o 2 de Dezembro de 2013 e 30 de Maio de 2014, na empresa Monitar, Lda, sediada em Viseu e vocacionada para a prestação de serviços multidisciplinares na área de Engenharia do Ambiente.

O estudo teve como objetivo aprofundar conhecimentos na área de ruído, com especial incidência no ruído proveniente do tráfego ferroviário. Foi elaborada uma vasta pesquisa acerca desta temática tendo como base a sua situação a nível nacional. Na vertente prática, foram realizadas medições de ruído ferroviário, abrangendo os vários tipos de material circulante a operar em Portugal, por forma a analisar os seus níveis de ruído e também com a finalidade de encontrar uma relação entre o material circulante português e o material circulante (categorias) considerado no método de cálculo nacional Standaard-Rekenmethode II (RMR 96/SMR II) dos Países Baixos, que é o recomendado pela Diretiva n.º 2002/49/CE para a elaboração dos Mapas de Ruído.

No decorrer do estudo foram ainda realizadas medições de vibrações provocadas pela passagem do material circulante, fazendo uma relação entre os dados obtidos com a velocidade, número de carruagens, níveis de pressão sonora, características da linha e tipo de solo. Foi ainda realizado, no decorrer do estudo, a comparação dos resultados de medições de ruído realizadas com sonómetros de classe de precisão 1 e 2.

O estudo realizado permitiu encontrar uma boa relação entre o material circulante português e o material circulante considerado nas categorias definidas no método RMR 96/SMR II.

No que diz respeito às vibrações, o transporte de mercadorias assim com o serviço Intercidades foram identificados como sendo o material circulante que provoca maiores níveis de vibrações, aquando da sua passagem. Verificou-se que o nível de vibrações emitido pelo material circulante é também dado em função do tipo de solo, da velocidade e do peso transportado.

As medições de ruído comparativas, entre um sonómetro de classe 1 e outro de classe 2, apresentaram uma boa relação, indiciando a possibilidade de utilização de sonómetros de classe 2 em substituição dos de classe 1, quando necessário, por exemplo, por razões de custo ou segurança, sem comprometer a qualidade das medições.



## ABSTRACT

The present study was carried out as part of a curricular internship inserted in the Master's Degree in Environmental Technologies of the Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. The internship was realized between December 2, 2013 and May 30, 2014 at the company Monitar, Lda, situated in Viseu, dedicated to the provision of multidisciplinary services in the field of Environmental Engineering.

The study aimed to deepen knowledge in the area of noise, with particular focus on noise from rail traffic. An extensive research about the thematic was prepared, based mainly on the national situation. In the practical part, measures of rail noise were carried out, covering the various types of rolling stock operating in Portugal, in order to analyze their levels of noise and also with the purpose of finding a relation between the Portuguese rolling stock and the rolling stock (categories) considered in the national calculation method Standaard-Rekenmethode II (RMR 96/SMR II) of the Netherlands, which is recommended by Directive 2002/49/CE for the elaboration of noise maps.

During the study, were also realized vibrations measurements caused by the passage of rolling stock, making a connection between the data obtained with the speed, number of carriages, sound pressure levels, features of the line and soil type.

Was also conducted, during the study, a comparison of the noise measurements results, performed with a class 1 and with a class 2 sound level meters.

The study allowed to find out a good relation between the Portuguese rolling stock and the rolling stock considered in the categories defined in the RMR 96/SMR II method.

In respect of vibrations the freight and the InterCity service were identified as the rolling stock that causes higher levels of vibration, while passing. It has been found that the level of vibration emitted by rolling stock is also in function of soil type, speed and weight carried.

The comparative noise measurements realized with a class 1 and with a class 2 sound level meters, showed a good relation, indicating the possibility of use a class 2 sound level meters instead of a class 1, when necessary, for instance, for reasons of cost or safety, without compromising the quality of the measurements



## **PALAVRAS-CHAVE**

Ruído ferroviário

Modelos de previsão de ruído ferroviário

Modelo RMR 96/SMR II

Vibrações provocadas pelo tráfego ferroviário



## **KEY-WORDS**

Rail noise  
Rail noise prediction models  
RMR 96/SMR II standard  
Vibrations caused by rail traffic



## AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho só foi possível devido ao apoio e colaboração de inúmeras pessoas nas diversas fases deste estudo, às quais eu agradeço:

Ao Professor Doutor Paulo de Pinho, por todo o apoio, disponibilidade, paciência e profissionalismo demonstrado ao longo da elaboração do presente estudo.

À empresa Monitar, Lda, por me ter proporcionado a realização do estágio; aos seus funcionários, pelo modo fabuloso como me acolheram. Assim agradeço ao João Leite, João Martinho, Johnny Reis, Marcelo Silva, Nuno Santos. Um agradecimento especial ao André Fonseca por ter sido incansável na resolução dos meus problemas correntes.

Ao Professor Doutor Diogo Alarcão pelo esclarecimento de dúvidas relacionadas com a temática; ao Vítor Silva da CP e ao José Ribeiro da REFER.

Aos meus amigos. À Sofia Neves, Glória Rojas, Filipa Marinho, Cátia Vicente, Sandra Sabença, Tiago Lamas, José João Silva, Mickael Monteiro, André Esteves, Sebástien Proença. Agradeço à Inês Pereira pelo seu apoio.

Por fim, agradeço à minha família. Agradeço aos meus irmãos, Marco e Zé, pelo carinho e preocupação que têm por mim e pelo modo formidável como sempre me tratam. Ao meu pai José Gonçalves por me ter dado sempre tudo. Agradeço à minha mãe Ana Fonseca Gonçalves, por tudo o que ela significa, por ser incansável comigo, por ser a pessoa mais importante.

A conclusão do presente estudo é também uma pequena vitória de todos aos quais eu agradeço. Bem-haja a todos.



## ÍNDICE GERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUÇÃO .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	2
1.3	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	2
<b>2</b>	<b>ESTÁGIO .....</b>	<b>5</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTÁGIO .....	5
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA MONITAR, LDA.....	6
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
3.1	EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA .....	9
3.1.1	<i>Perturbação do sono.....</i>	9
3.1.2	<i>Efeitos cardiovasculares .....</i>	10
3.1.3	<i>Desordem psiquiátrica.....</i>	10
3.1.4	<i>Surdez .....</i>	10
3.1.5	<i>Incómodo .....</i>	11
3.1.6	<i>Performance .....</i>	11
3.1.7	<i>Exposição de crianças ao ruído.....</i>	11
3.2	ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO RELATIVO AO RUÍDO .....	13
3.3	MEDIÇÕES DE RUÍDO.....	19
3.3.1	<i>Medição de <math>L_{Aeq}</math> e <math>L_{max}</math>.....</i>	19
3.3.2	<i>ISO 3095:2013.....</i>	20
3.3.3	<i>Instrumentos de medição de ruído .....</i>	21
3.3.4	<i>Fatores que afetam a medição de ruído.....</i>	21
3.4	RUÍDO DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO.....	22
3.4.1	<i>Elementos da linha ferroviária.....</i>	22
3.4.1.1	<i>Carris .....</i>	23
3.4.1.2	<i>Sistema de fixação.....</i>	24
3.4.1.3	<i>Dormentes .....</i>	25
3.4.1.4	<i>Bitola .....</i>	26
3.4.1.5	<i>Balastro .....</i>	26
3.4.1.6	<i>Sub-balastro .....</i>	27
3.4.1.7	<i>Subleito .....</i>	27
3.4.2	<i>Rede ferroviária portuguesa .....</i>	28
3.4.3	<i>Material circulante .....</i>	32

3.4.4	<i>Problemática do ruído ferroviário</i> .....	38
3.4.4.1	Situação europeia .....	40
3.4.4.2	Situação nacional .....	41
3.4.5	<i>População exposta ao ruído ferroviário</i> .....	42
3.4.6	<i>Fontes de ruído ferroviário</i> .....	46
3.4.6.1	Fontes de ruído de acordo com o tipo de atividade ferroviária .....	46
3.4.6.2	Ruído associado ao tráfego ferroviário .....	47
3.4.6.3	Ruído associado aos travões .....	49
3.4.6.4	Relação entre níveis de ruído, velocidade e tipo de material circulante .....	50
3.4.7	<i>Medidas de mitigação</i> .....	51
3.5	MODELAÇÃO FERROVIÁRIA .....	56
3.5.1	<i>Schall 03</i> .....	57
3.5.2	<i>NMPB-FER</i> .....	57
3.5.3	<i>Nórdico</i> .....	58
3.5.4	<i>SRM II</i> .....	58
3.6	VIBRAÇÕES .....	60
3.6.1	<i>Fatores relacionados com a fonte de vibrações</i> .....	62
<b>4</b>	<b>CASO DE ESTUDO</b> .....	<b>65</b>
4.1	METODOLOGIA UTILIZADA .....	65
4.2	EQUIPAMENTO UTILIZADO .....	66
4.2.1	<i>Ruído</i> .....	66
4.2.2	<i>Vibrações</i> .....	67
4.3	LOCAIS DE MEDIÇÃO .....	68
4.4	MATERIAL CIRCULANTE ANALISADO .....	71
4.4.1	<i>Série 2200</i> .....	71
4.4.2	<i>Série 5600</i> .....	71
4.4.3	<i>Série 3400</i> .....	72
4.4.4	<i>Série 4000</i> .....	72
4.4.5	<i>Série 2300 e 2400</i> .....	73
4.4.6	<i>Série 3100 e 3200</i> .....	73
4.4.7	<i>Série 3500</i> .....	74
4.5	RESULTADOS .....	77
4.5.1	<i>Caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário circulante em Portugal</i> .....	77
4.5.1.1	Local 1 .....	77
4.5.1.2	Local 2 .....	78
4.5.1.3	Local 3 .....	78

4.5.1.4	Local 4 .....	79
4.5.1.5	Local 5 .....	82
4.5.1.6	Local 6 .....	83
4.5.1.7	Local 7 .....	84
4.5.2	<i>Comparação de sonómetros de diferentes classes</i> .....	85
4.5.3	<i>Caracterização das vibrações geradas por tráfego ferroviário circulante em Portugal</i> 86	
4.5.3.1	Local 2 .....	87
4.5.3.2	Local 3 .....	87
4.5.3.3	Local 4 .....	88
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	91
4.6.1	<i>Caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário circulante em Portugal.</i> 91	
4.6.1.1	Intercidades Série 5600 + carruagens .....	92
4.6.1.2	Regional UTE Série 2200 .....	93
4.6.1.3	Urbano UQE Série 3400.....	94
4.6.1.4	Alfa Pendular Série 4000 .....	95
4.6.1.5	Série 2300/2400 .....	97
4.6.1.6	UQE + UTE Série 3100/3200.....	98
4.6.1.7	UQE Série 3500 .....	99
4.6.2	<i>Comparação de sonómetros de diferentes classes</i> .....	103
4.6.3	<i>Caracterização das vibrações geradas por tráfego ferroviário circulante em Portugal</i> 104	
5	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b> .....	<b>109</b>
6	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>111</b>
7	<b>ANEXOS</b> .....	<b>117</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre severidade dos efeitos do ruído e número de afetados .....	13
Figura 2 – Efeitos provocados pelo aumento de ruído.....	13
Figura 3 - Evolução do enquadramento legal relativo ao ruído. ....	16
Figura 4 – Componentes de uma linha ferroviária .....	23
Figura 5 - Perfil de um carril .....	23
Figura 6 - Típico sistema de fixação .....	24
Figura 7 - Tipos de fixações. ....	25
Figura 8 – Dormentes madeira, bi-bloco e monobloco. ....	26
Figura 9 - Mapa de rede ferroviária portuguesa.....	30
Figura 10 – Mapa de cargas com ligação aos vários terminais e portos.....	37
Figura 11 – Exposição ao ruído ferroviário em aglomerações com mais de 100000 indivíduos	43
Figura 12 - Exposição ao ruído ferroviário, fora das aglomerações, em locais com mais de 30000 passagens .....	43
Figura 13 - Exposição ao ruído ferroviário, em situação conjunta, em locais com mais de 30000 passagens .....	44
Figura 14 - Exposição ao ruído ferroviário na aglomeração de Lisboa para o fator $L_n$ .....	44
Figura 15 - Exposição ao ruído ferroviário, fora das aglomerações, em locais com mais de 30000 passagens .....	45
Figura 16 - Exposição ao ruído ferroviário, em situação conjunta, em locais com mais de 30000 passagens .....	45
Figura 17 - Material circulante com travões de disco.....	50
Figura 18 - Material circulante com travões de cepos.....	50
Figura 19 – Níveis sonoros provocado pelo ruído de tráfego ferroviário em função da velocidade e do tipo de ruído.....	50
Figura 20 - Absorvedores nos carris .....	54
Figura 21 - Absorvedores nas rodas .....	54
Figura 22 - Categorias de comboios existentes na norma holandesa SRM II .....	59
Figura 23 - Propagação das vibrações no solo.....	61
Figura 24 - Fontes de vibração e seus efeitos no meio ambiente .....	62
Figura 25 - Medições com ambos os sonómetros no local 1.....	66
Figura 26 - Medições com ambos os sonómetros no local 2.....	66
Figura 27 - Sonómetro Bruel & Kjaer 2260 Observer. ....	67
Figura 28 - Sonómetro TES 1352.....	67
Figura 29- Sismógrafo GeoSonics Inc. SSU3000EZ+. ....	68
Figura 30 – Esquema e fotografia do UTE Série 2200 .....	71
Figura 31 - Esquema e fotografia de uma Locomotiva 5600 com carruagens Corail/Sorefame	72
Figura 32 - Esquema de uma UQE Série 3400.....	72
Figura 33 - Esquema do Alfa Pendular Série 4000.....	72

Figura 34 – Esquema e fotografia do UQE Série 2300 e UQE Série 2400 .....	73
Figura 35 - Esquema do UTE Série 3100 e UQE Série 3200. Fotografia de um UTE+UQE Série 3100/3200 .....	74
Figura 36 - Esquema e fotografia do UQE Série 3500 .....	74
Figura 37 - Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos UQE Série 3400 no sentido Cacia. ....	79
Figura 38 – Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos UQE Série 3400 no sentido Cacia. ....	79
Figura 39 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Intercidades Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra. ....	80
Figura 40 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Intercidades Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra. ....	80
Figura 41 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Regionais UTE Série 2200, no sentido Aveiro. ....	81
Figura 42 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Regionais UTE Série 2200, no sentido Aveiro.....	81
Figura 43 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Alfa Pendular Série 4000, no sentido Aveiro. ....	82
Figura 44 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Alfa Pendular Série 4000, no sentido Aveiro.....	82
Figura 45 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos Série 2300/2400, no sentido Lisboa.....	83
Figura 46 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos Série 2300/2400, no sentido Lisboa. ....	83
Figura 47 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos UQE+UTE Série 3100/3200, no sentido Lisboa. ....	84
Figura 48 - Espectro de frequências de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos UQE+UTE Série 3100/3200, no sentido Lisboa. ....	84
Figura 49 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos Série 3500, no sentido Alhandra. ....	85
Figura 50 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos Série 3500, no sentido Alhandra.....	85
Figura 51 - Espectro em bandas de oitava para cada uma das categorias da norma RMR 96/SMR II. ....	92
Figura 52 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pela locomotiva 5600 + 5 carruagens, com a C2 numa razão de 2. ....	93
Figura 53 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UTE Série 2200, com a C8 numa razão de 3 e com a C3 numa razão de 1,5. ....	94
Figura 54 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 3400, com a C8 numa razão de 2 e com a C3 numa razão de 1.....	95

Figura 55 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo Série 4000, com a C9 numa razão de 1.....	96
Figura 56 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 2300/2400, com a C2 numa razão de 16.....	97
Figura 57 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE+UTE Série 3100/3200, com a C1 numa razão de 7. ....	98
Figura 58 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 3500, com a C8 numa razão de 1 e com a C2 numa razão de 0,35. ....	100
Figura 59 - Mapa ferroviário português para os diferentes tipos de serviços. ....	121
Figura 60 - Mapa ferroviário português de acordo com as diferentes linhas e ramais .....	122
Figura 61 - Mapa ferroviário português de acordo com o tipo de vias disponíveis.....	123
Figura 62 - Mapa ferroviário português de acordo com o tipo de eletrificação .....	124
Figura 63 - Mapa ferroviário português de acordo com os perfis de velocidade .....	125
Figura 64 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 1. ....	151
Figura 65 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 2. ....	151
Figura 66 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 3. ....	151
Figura 67 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 6. ....	152
Figura 68 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 7. ....	152
Figura 69 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 9. ....	152
Figura 70 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 10. ....	153
Figura 71 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 11. ....	153
Figura 72 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 12. ....	153
Figura 73 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 13. ....	154
Figura 74 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 14. ....	154
Figura 75 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 15. ....	154
Figura 76 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 16. ....	155
Figura 77 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 17. ....	155
Figura 78 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 18. ....	155
Figura 79 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 19. ....	156
Figura 80 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 32. ....	156
Figura 81 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 33. ....	156
Figura 82 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 34. ....	157
Figura 83 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 35. ....	157
Figura 84 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 36. ....	157
Figura 85 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 37. ....	158
Figura 86 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 38. ....	158
Figura 87 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 94. ....	158
Figura 88 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 95. ....	159
Figura 89 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 96. ....	159
Figura 90 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 99. ....	159

Figura 91 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 100.....	160
Figura 92 - Resultante obtido na medição 26.....	162
Figura 93 - Resultante obtido na medição 31.....	162
Figura 94 - Resultante obtido na medição 29.....	162
Figura 95 - Resultante obtido na medição 27.....	163
Figura 96 - Resultante obtido na medição 28.....	163
Figura 97 - Resultante obtido na medição 30.....	163
Figura 98 - Resultante obtido na medição 33.....	164
Figura 99 - Resultante obtido na medição 44.....	164
Figura 100 - Resultante obtido na medição 42.....	164
Figura 101 - Resultante obtido na medição 53.....	165
Figura 102 - Resultante obtido na medição 37.....	165
Figura 103 - Resultante obtido na medição 63.....	165
Figura 104 - Resultante obtido na medição 52.....	166
Figura 105 - Resultante obtido na medição 49.....	166
Figura 106 - Resultante obtido na medição 47.....	166
Figura 107 - Resultante obtido na medição 41.....	167
Figura 108 - Resultante obtido na medição 48.....	167
Figura 109 - Resultante obtido na medição 43.....	167
Figura 110 - Resultante obtido na medição 55.....	168
Figura 111 - Resultante obtido na medição 58.....	168
Figura 112 - Resultante obtido na medição 59.....	168
Figura 113 - Resultante obtido na medição 40.....	169
Figura 114 - Resultante obtido na medição 36.....	169
Figura 115 - Resultante obtido na medição 50.....	169
Figura 116 - Resultante obtido na medição 62.....	170
Figura 117 - Resultante obtido na medição 51.....	170
Figura 118 - Resultante obtido na medição 61.....	170
Figura 119 - Resultante obtido na medição 67.....	171
Figura 120 - Resultante obtido na medição 86.....	171
Figura 121 - Resultante obtido na medição 72.....	171
Figura 122 - Resultante obtido na medição 75.....	172
Figura 123 - Resultante obtido na medição 68.....	172
Figura 124 - Resultante obtido na medição 88.....	172
Figura 125 - Resultante obtido na medição 85.....	173
Figura 126 - Resultante obtido na medição 76.....	173
Figura 127 - Resultante obtido na medição 87.....	173
Figura 128 - Resultante obtido na medição 81.....	174
Figura 129 - Resultante obtido na medição 69.....	174
Figura 130 - Resultante obtido na medição 70.....	174

Figura 131 - Resultante obtido na medição 82. ....	175
Figura 132 - Resultante obtido na medição 83. ....	175
Figura 133 - Resultante obtido na medição 84. ....	175
Figura 134 - Resultante obtido na medição 66. ....	176
Figura 135 - Resultante obtido na medição 71. ....	176
Figura 136 - Resultante obtido na medição 74. ....	176
Figura 137 - Resultante obtido na medição 80. ....	177
Figura 138 - Resultante obtido na medição 90. ....	177
Figura 139 - Resultante obtido na medição 64. ....	177
Figura 140 - Resultante obtido na medição 73. ....	178
Figura 141 - Resultante obtido na medição 79. ....	178
Figura 142 - Resultante obtido na medição 89. ....	178



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma do estágio.....	5
Tabela 2 – Efeitos na saúde observados na população para diferentes intervalos de pressão sonora.....	12
Tabela 3 - Valores limite de $L_{den}$ e $L_n$ para as diferentes zonas.....	18
Tabela 4 - Tipos de carris e suas aplicações.....	24
Tabela 5 - Tipos de material para dormentes e suas características.....	26
Tabela 6 – Classificação da infraestrutura de transporte ferroviário da REFER.....	28
Tabela 7 – Caracterização da rede.....	31
Tabela 8 - Material circulante da CP a operar atualmente em Portugal.....	32
Tabela 9 - Fotografias do material circulante da CP a operar atualmente em Portugal.....	34
Tabela 10 – Circulações por tipo de comboio.....	36
Tabela 11 – Valor limite de ruído para vários tipos de material circulante, de acordo com o TSI140.....	46
Tabela 12 - Total de residentes a distância igual ou inferior a 50 metros das GIF.....	46
Tabela 13 - Fontes de ruído ferroviário.....	46
Tabela 14- Relevância dos tipos de ruído para diferentes géneros de comboios.....	51
Tabela 15 - Medidas de mitigação.....	54
Tabela 16 - Fatores que influenciam a propagação de vibrações, de acordo com a fonte.....	62
Tabela 17 - Características do sonómetro de classe 1 - Bruel & Kjaer 2260 Observer.....	66
Tabela 18 - Características do sonómetro de classe 2 - TES 1352.....	67
Tabela 19 - Características do sismógrafo.....	67
Tabela 20 - Características associadas a cada local, para cada dia de medição.....	69
Tabela 21 - Características e particularidades do material circulante analisado.....	75
Tabela 22 - Velocidades e tipo de material circulante registado no local 1.....	77
Tabela 23 - Velocidades e tipo de material circulante registado no local 2.....	78
Tabela 24 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE Série 3400, no sentido Cacia.....	78
Tabela 25 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Intercidades, Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra.....	79
Tabela 26 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Regionais UTE Série 2200 no sentido Aveiro.....	80
Tabela 27 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Alfa Pendular Série 4000 no sentido Aveiro.....	81
Tabela 28 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE 2300/2400 no sentido Lisboa.....	82
Tabela 29 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE + UTE 3100/3200 no sentido Lisboa.....	83
Tabela 30 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE Série 3500 no sentido Alhandra.....	84

Tabela 31 - Comparativo das medições entre os dois sonómetros. ....	86
Tabela 32 – Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 2. ....	87
Tabela 33 - Valor Resultante obtido para o Regional no local 2. ....	87
Tabela 34 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 2. ....	87
Tabela 35 - Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 3. ....	87
Tabela 36 - Valor Resultante obtido para os Urbanos no local 3. ....	87
Tabela 37 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 3. ....	88
Tabela 38 - Valor Resultante obtido para os Alfa Pendular no local 3. ....	88
Tabela 39 - Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 4. ....	88
Tabela 40 - Valor Resultante obtido para os Regionais no local 4. ....	89
Tabela 41 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 4. ....	89
Tabela 42 - Valor Resultante obtido para os Alfa Pendular no local 4. ....	90
Tabela 43 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições da locomotiva 5600 + carruagens e o previsto na C2 numa razão de 2. ....	93
Tabela 44 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições das UTE Série 2200 e o previsto na C3 numa razão de 1,5 e com a C8 com uma razão de 3. ....	94
Tabela 45 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições das UQE Série 3400 e o previsto na C3 numa razão de 1 e com a C8 numa razão de 2. ....	95
Tabela 46 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições do Alfa Pendular Série 4000 e o previsto na C9 numa razão de 1. ....	96
Tabela 47 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições das UQE Série 2300/2400 e o previsto na C2 numa razão de 16. ....	97
Tabela 48 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições das UQE + UTE Série 3100/3200 e o previsto na C1 numa razão de 7. ....	99
Tabela 49 - Comparação entre o $L_{Aeq}$ 1 hora obtido nas medições das UQE Série 3500 e o previsto na C2 numa razão de 0,35 e com a C8 numa razão de 1. ....	100
Tabela 50 - Equivalência entre o material circulante nacional e as categorias da norma RMR 96/SMR II, com a devida proporção. ....	101
Tabela 51 - Equivalência entre material circulante nacional e as categorias do modelo RMR 96/SMR II com respetivos fatores de correção. ....	101

# 1 Introdução, objetivos e organização do documento

## 1.1 Introdução

O presente documento surge no âmbito da unidade curricular Projeto ou Estágio ou Dissertação, inserida no Mestrado de Tecnologias Ambientais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. O trabalho foi realizado na forma de Estágio em empresa.

A problemática do ruído é atualmente um tema muito preocupante no que diz respeito às consequências que causa na vida de uma comunidade, uma vez que resulta da união de várias fontes, tais como veículos, comboios, aviões, construção civil, sirenes, alarmes, entre outros. Estes fatores aumentam bastante os níveis de pressão sonora, havendo assim a necessidade de controlar este tipo de poluição através da legislação em vigor.

De acordo com a World Health Organization (WHO), o limiar da incomodidade para ruído contínuo é de cerca de 50 dB (A) de  $L_{Aeq}$  diurno, sendo que poucas pessoas são realmente incomodadas por valores até 55 dB (A). No período noturno os níveis sonoros devem situar-se 5 a 10 dB (A) abaixo dos valores diurnos por forma a garantir um ambiente sonoro equilibrado (e.g. BERGLUND, B. [et al], 1999).

O Livro verde da Comissão Europeia sobre a Futura Política do Ruído Ambiente (COM (94) 540 final) definiu o controlo do ruído ferroviário como um dos vetores a atuar por forma a controlar o ruído ambiente. O ruído emitido pela circulação ferroviária é tido como a principal crítica associada a este meio de transporte, sendo o transporte de mercadorias o principal contribuidor para o aumento da poluição sonora ferroviária, seguido dos serviços de alta velocidade e, por fim, os serviços urbanos.

O enquadramento legislativo nacional relativo ao ruído ambiente é dado pelo Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho (Diretiva de Ruído Ambiente) que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, assim como pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, 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 passagens 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 “*Standard-Rekenmethode II*” (designado abreviadamente por RMR 96/SMR II) dos Países Baixos, publicado na “*Reken – Meetvoorschrift Railverkeerslawaal’96*, Ministerie Volkshulsvesting, Ruimtellijke Ordening en Milleubeheer, 20 de Novembro de 1996”, para modelação de ruído ferroviário.

Este método surge como um modelo 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 (ALARCÃO, D., COELHO, J., 2008). As suas

potencialidades técnicas recomendam a sua utilização, apesar de a sua base de dados ser de certa forma limitada e específica para o material circulante dos Países Baixos e por exigir procedimentos complexos para a sua extensão. Este permite que haja a inclusão de novas classes de material circulante, através de medições acústicas, o que em termos práticos se torna bastante desajustado (ALARCÃO, D., COELHO, J., 2008).

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como principal objetivo a caracterização da emissão acústica do material circulante ferroviário nacional e relacioná-lo com o material circulante expresso no método RMR 96/SMR II. Como referido anteriormente, este método, apesar de ser recomendado pelo Decreto-Lei nº 146/2006 de 31 de Julho, está adaptado ao material circulante dos Países Baixos. Assim foram realizadas medições de ruído durante a passagem do material circulante e simulou-se, para cada local, e para cada passagem específica de uma dada composição ferroviária, os espectros em bandas de oitava e os níveis totais de diferentes categorias de comboios do modelo RMR 96/SMR II, sob as mesmas condições das existentes aquando das medições, com a finalidade de encontrar uma relação entre o material circulante português e as categorias disponíveis no método referido.

No decorrer do estudo foram também definidos novos objetivos tendo em consideração a oportunidade da realização dos trabalhos de campo. Um dos objetivos adicionados foi a caracterização das vibrações provocadas pelos diversos tipos de material circulante, aquando da sua passagem, fazendo uma relação com os níveis de ruído, velocidade de passagem, tipo de solo, peso transportado.

Foi ainda definido como objetivo investigar a qualidade das medições de ruído efetuadas com um sonómetro de classe 2 comparativamente às obtidas com um sonómetro de classe 1, com especificações técnicas mais exigentes em termos de incerteza e tolerância.

## 1.3 Organização do documento

O presente documento está organizado em sete capítulos. Deste modo, no primeiro capítulo “Introdução, objetivos e organização do documento” é feito o enquadramento do trabalho desenvolvido, são especificados os objetivos, incluindo também a estrutura e organização do presente documento.

No segundo capítulo “Estágio” está apresentado o cronograma do estágio realizado, as tarefas realizadas na empresa onde decorreu o Estágio, Monitar, Lda, assim como a caracterização da empresa referida.

No terceiro capítulo “Revisão da literatura” são abordados diversos conteúdos relacionados com o tema central do presente trabalho, nomeadamente: Efeitos do ruído na saúde humana;

Enquadramento legislativo relativo ao ruído; Medições de ruído; Ruído de tráfego ferroviário; Modelação ferroviária; Vibrações.

No quarto capítulo “Caso de estudo” são identificadas as diversas metodologias de medição adotadas, os equipamentos utilizados durante as medições, os locais onde foram realizadas as medições, assim como o material circulante analisado. São também apresentados todos os resultados obtidos através das medições efetuadas. Por fim, são discutidos os resultados obtidos através da modelação, das medições feitas com os dois sonómetros assim como das medições das vibrações causadas pela passagem de material circulante. É feita uma relação entre os resultados obtidos das medições com o perspectivado no modelo RMR 96/SMR II, assim como é feita uma comparação entre as medições de cada um dos sonómetros por forma a averiguar a capacidade do sonómetro de classe 2 em fornecer resultados fiáveis. São também analisados os dados obtidos das vibrações.

No quinto capítulo “Conclusões e desenvolvimentos futuros” são apresentadas as principais conclusões do presente estudo assim como recomendações para o desenvolvimento futuro da investigação.

No sexto capítulo “Bibliografia” é apresentada toda a bibliografia consultada ao longo da realização do presente estudo.

No sétimo capítulo “Anexos” estão apresentados todos os documentos em anexo do presente estudo, desde os mapas com as características da rede ferroviária em Portugal, cartografia dos locais de medição, boletim de verificação do sonómetro, certificado de calibração do sismógrafo, gráficos comparativos entre ambos os sonómetros, gráficos com a resultante obtida das medições das vibrações.



## 2 Estágio

### 2.1 Caracterização do estágio

O estágio foi efetuado na empresa Monitar, Lda, no período compreendido entre 2 de Dezembro de 2013 e 30 de Maio de 2014, ou seja, com uma duração total de cerca de seis meses. A Tabela 1 apresenta o cronograma do estágio tendo em consideração a seguinte designação das tarefas efetuadas:

**T1 – Pesquisa bibliográfica.** A pesquisa realizou-se entre os meses de Dezembro de 2013 e Março de 2014. Efetuou-se uma pesquisa bibliográfica intensa, por forma a descrever o estado da arte no que diz respeito à problemática do ruído provocado pelo transporte ferroviário e modelação de transporte ferroviário.

**T2 – Campanhas de medição de ruído.** A tarefa T2 foi efetuada entre os meses de Março de 2014 e Maio de 2014 e correspondeu à componente prática do trabalho. Deste modo, foram efetuadas medições de ruído e vibrações junto de várias linhas ferroviárias durante a passagem de diverso material circulante.

**T3 – Tratamento de dados.** Esta fase correspondeu ao tratamento dos dados recolhidos na tarefa T2 e foi efetuada entre Março de 2014 e Maio de 2014.

**T4 – Modelação de ruído ferroviário.** Fase efetuada em consonância e paralelamente à fase T3, sendo que o período compreendido foi também de Março a Maio de 2014. Efetuou-se modelação ferroviária através do Software IMMI por forma a fazer uma correspondência entre o material circulante português e as classes descritas na RMR 96/SMR II, de acordo com os níveis de pressão sonora recolhidos nas medições efetuadas. Foram também analisados os dados referentes às medições de vibrações e às medições comparativas entre sonómetros de classe 1 e 2.

**T5 – Elaboração do relatório.** Decorreu ao longo de vários meses, designadamente entre Fevereiro de 2014 e Julho de 2014. Assim, entre Fevereiro e Março foi elaborada a componente teórica do presente relatório, sendo que nos meses seguintes foram sendo efetuados os restantes segmentos do presente trabalho.

Tabela 1 - Cronograma do estágio.

Tarefa	Dez. 2013	Jan. 2014	Fev. 2014	Mar. 2014	Abril 2014	Mai 2014
T1						
T2						
T3						
T4						
T5						

É também de referir que, ao longo do estágio, foram realizados diversos trabalhos proporcionados pela Monitar, Lda. Assim sendo salienta-se:

- Foram realizados trabalhos de monitorização da qualidade das águas superficiais, escorrências e subterrâneas. Deste modo foram desenvolvidos conhecimentos no que diz respeito aos procedimentos a efetuar antes, durante e após a recolha de águas superficiais e subterrâneas; operação com o equipamento de medição de parâmetros *in-situ*; preenchimento de fichas de campo;
- Amostragem por difusão para a determinação de concentrações de gases vapores no ar ambiente; determinação de partículas em suspensão na atmosfera: Fração PM<sub>10</sub>.
- Medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, elementos de fachada e determinação do índice de isolamento sonoro. Método global com altifalante; medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e determinação do índice de isolamento sonoro; medição de isolamento sonoro a sons de percussão e determinação do índice de isolamento sonoro; medição do tempo de reverberação. Método da fonte interrompida (método de engenharia). Medição dos níveis de pressão sonora de equipamentos de edifícios. Determinação do nível sonoro do ruído particular.
- Medição dos níveis de pressão sonora. Critério de incomodidade; determinação do nível médio de longa duração; determinação do nível sonoro contínuo equivalente.

## 2.2 Caracterização da Monitar, Lda

A Monitar, Lda, é uma empresa vocacionada para a prestação de serviços multidisciplinares na área de Engenharia do Ambiente, fundada em 2006 e com a sua sede em Viseu. Desde o ano da sua fundação até aos dias de hoje, a Monitar teve um crescimento forte, regularizado e sobretudo sustentado, abrangendo, ano após ano, cada vez uma maior prestação de serviços no âmbito da Engenharia do Ambiente. Deste modo, presentemente, a Monitar presta serviço nos seguintes domínios:

- Estudos e projetos ambientais;
- Consultadoria ambiental;
- Gestão e acompanhamento ambiental;
- Monitorização ambiental;
- Modelação ambiental;
- Acústica e vibrações;
- Higiene e segurança no trabalho.

A Monitar possui também um laboratório de ensaios acreditado pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC) segundo a norma NP EN ISO 17025:2005 com o número L0558. Através do link [http://www.ipac.pt/pesquisa/ficha\\_lae.asp?id=L0558](http://www.ipac.pt/pesquisa/ficha_lae.asp?id=L0558) é possível identificar todos os tipos de ensaio a que a Monitar, Lda, está acreditada, de acordo com os respetivos métodos.

Por fim, é de realçar que a Monitar, Lda, está envolvida em três projetos de investigação, designadamente o TICE.MOBILIDADE, QUAMIS e Águeda Concept.



## 3 Revisão da literatura

No presente capítulo são abordados diversos conteúdos relacionados com o tema central do presente trabalho, nomeadamente: Efeitos do ruído na saúde humana; enquadramento legislativo relativo ao ruído; medições de ruído; ruído de tráfego ferroviário; modelação ferroviária; vibrações.

### 3.1 Efeitos do ruído na saúde humana

O ruído é uma das ameaças à saúde pública mais disseminada nos países industrializados. A sua redução é, por conseguinte necessária, não só por razões de conforto, mas também para atenuar efeitos adversos na saúde (COM, 2008).

Especialistas em saúde pública concordam que 24% dos problemas de saúde pública advêm de riscos ambientais, sendo que a ampla exposição ao ruído ambiental a partir de estradas, ferrovias, aeroportos e zonas industriais contribui em grande parte para esse alto índice (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

A exposição prolongada ao ruído ambiente (proveniente do tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, industrial) tem contribuição para o aumento de doenças relacionadas com o ruído ambiente. Uma em cada três pessoas tem irritações durante o dia, provocado pelo excesso de ruído, e uma a cada cinco pessoas tem perturbações do sono durante a noite devido ao ruído proveniente do tráfego. Existem evidências epidemiológicas que indicam que, indivíduos cronicamente expostos a elevados níveis de ruído ambiente, têm uma maior probabilidade de vir a contrair doenças cardiovasculares, tais como o enfarte do miocárdio. A WHO define a saúde como um estado de completo desenvolvimento físico, mental e de bem-estar social e não meramente a ausência de doença ou enfermidade. Por estas razões, a poluição sonora é considerada um incómodo ambiental e também uma ameaça à saúde pública (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

#### 3.1.1 Perturbação do sono

Um sono tranquilo e sem interrupções é um aspeto fundamental para que um indivíduo se sinta em boas condições e para que possua um bom desempenho, tanto físico como mental, ao longo do dia (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

A perturbação do sono é desde sempre, considerada como um dos maiores efeitos causados pelo ruído ambiente (e.g. BERGLUND, B., [Et al.], 1999), sendo um dos aspetos que recebe mais queixas a nível mundial tanto ao nível de afetação do sono a curto prazo como a longo prazo. A curto prazo pode provocar movimentações do corpo durante a noite, mudança nos horários do sono, insónias, despertares noturnos. De um modo geral, os efeitos imediatos são os que mais afetam a população exposta. A perturbação do sono interfere no dia-a-dia das pessoas, muitas das vezes manifestando-se no período diurno seguinte ao nível da sonolência, desempenho no trabalho, perturbação das performances cognitivas e de vigilância. A longo prazo pode provocar

distúrbios crónicos no sono (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011; STANSFELD, S.A., MATHESON, M., 2003). Em 1999, a WHO afirmava que os níveis de pressão sonora no interior de uma habitação não deveriam exceder os 45 dB (A) em mais de dez ou quinze vezes por noite, por forma a obter-se uma boa noite de sono, havendo evidências de despertares com picos nos níveis de pressão sonora entre os 55 dB (A) e os 60 dB (A) (e.g. BERGLUND, B., [Et al.], 1999).

### 3.1.2 Efeitos cardiovasculares

O ruído ambiente é um fator ambiental causador de efeitos adversos na saúde a longo prazo. A exposição prolongada ao ruído ativa os sistemas autónomos e hormonais, levando a alterações temporárias, tais como aumento da frequência cardíaca e da tensão arterial. Há indícios que sugerem um maior risco de doenças cardiovasculares, tais como a hipertensão arterial e o enfarte do miocárdio em pessoas cronicamente expostas a níveis elevados de ruído proveniente do tráfego rodoviário e aéreo (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

A maior evidência dos efeitos do ruído no sistema cardiovascular vem de estudos acerca da pressão arterial em locais de trabalho. Indivíduos expostos a níveis de ruído contínuos de 85 dB (A) ou superiores, têm pressão arterial maior do que indivíduos não expostos aos mesmos níveis de ruído. A exposição ao ruído é também um indicador de exposição a outros fatores, psíquicos e psicológicos, que estão associados com alta pressão arterial (STANSFELD, S.A., MATHESON, M., 2003).

O resultado de um estudo *cross-sectorial* entre o ruído de tráfego e hipertensão, realizado em 2009, na Suécia, indicou que os efeitos cardiovasculares provenientes do ruído do tráfego rodoviário apenas foram sentidos a partir de níveis médios acima de 60 dB (A) (BODIN, T., [Et al.], 2009). É cada vez mais evidente a associação entre exposição a ruído de tráfego e o aumento do risco de hipertensão (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

### 3.1.3 Desordem psiquiátrica

Os problemas de desordem psiquiátrica são também uma consequência derivada da exposição ao ruído. Existem sintomas relatados entre trabalhadores expostos a altos níveis de ruído em locais como escolas e indústrias. Os tipos de sintomas apresentados incluem náuseas, dores de cabeça, alterações no humor e na ansiedade (STANSFELD, S.A., MATHESON, M., 2003).

### 3.1.4 Surdez

A surdez corresponde à perda total da capacidade auditiva, sendo que por sua vez a deficiência auditiva refere-se à perda total ou parcial da capacidade de ouvir. A exposição de indivíduos a níveis elevados de ruído pode causar uma deficiência neuro sensorial, um problema relacionado com o ouvido interno ou com o nervo auditivo (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

### 3.1.5 Incómodo

O incómodo é outra das consequências causadas pela exposição ao ruído (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011). A incomodidade, causada em indivíduos expostos ao ruído, pode levar a vários tipos de respostas negativas, tais como a insatisfação, ansiedade, distração, agitação, raiva e exaustão. Também existem outros indícios, como o stress, sintomas psicológicos, fadiga e má disposição, que podem ser associados a respostas a situações de incómodo (e.g. BERGLUND, B., [Et al.], 1999). A sensação de incómodo é influenciada pelas características acústicas do ruído, tais como a intensidade e frequência. Apesar disso, existem outros fatores não acústicos que podem gerar incómodo, como o receio do perigo proveniente da fonte de ruído, sensibilidade do indivíduo ao ruído, entre outros (STANSFELD, S.A., MATHESON, M., 2003).

### 3.1.6 Performance

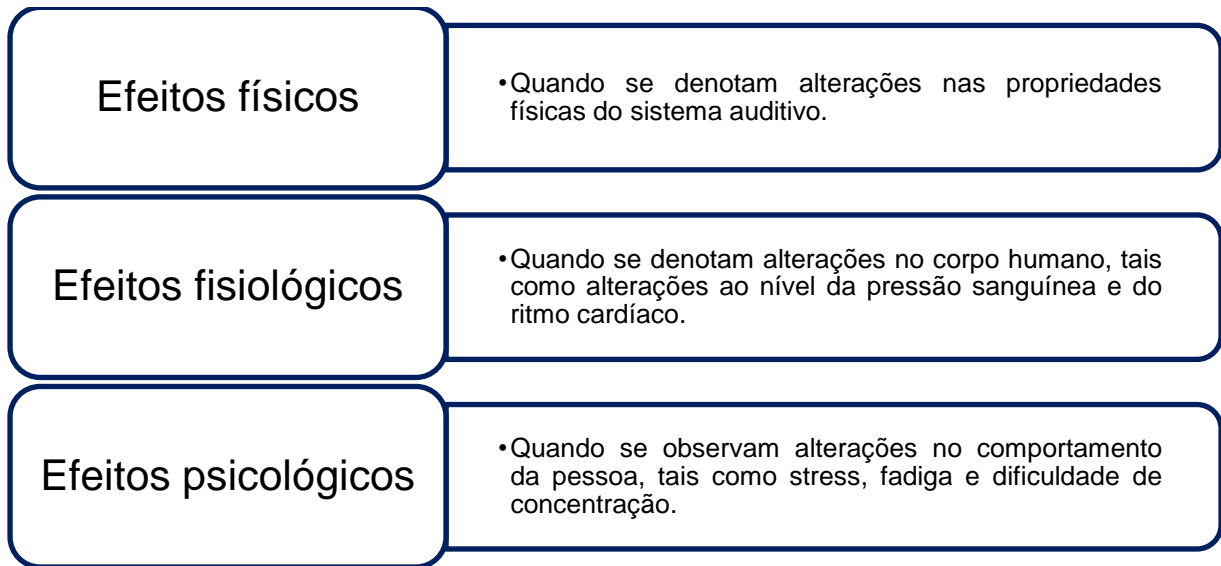
O ruído afeta a performance, principalmente o processamento de informação, atenção e memória. Provoca também o aumento dos níveis de alerta e de atenção seletiva. Outros efeitos dizem respeito à redução da precisão da performance, assim como à redução da performance da memória a curto prazo. Uma explicação para esta consequência é o facto de a presença de ruído aumentar a carga de trabalho mental imposta por uma tarefa, originando a diminuição de recursos cognitivos disponíveis para a sua realização. O ruído intermitente de curta duração é o mais perturbador, devido ao facto de consumir recursos de processamento de informação que o indivíduo não consegue repor devido à exposição ser limitada. Por outro lado, no caso de exposição a ruído contínuo, os indivíduos conseguem desenvolver mais facilmente estratégias de adaptação (SZALMA, J.L., HANCOCK, M.A., 2011).

### 3.1.7 Exposição de crianças ao ruído

As crianças representam um grupo particularmente vulnerável para os efeitos do ruído na saúde, pois ainda estão em desenvolvimento, tanto fisicamente como psicologicamente. Assim sendo é possível que a exposição a um stress ambiental, como o ruído, traga consigo efeitos negativos irreversíveis (STANSFELD, S.A., MATHESON, M., 2003).

As partes afetadas envolvem a central de processamento e linguagem, tais como a compreensão de leitura, memória e atenção. A exposição ao ruído durante períodos críticos de aprendizagem na escola prejudica o desenvolvimento e tem um efeito negativo ao longo da vida em relação aos níveis de instrução (e.g. FRITSCHI, L., [Et al.], 2011).

De um modo geral, os efeitos do ruído na saúde humana podem agrupar-se em 3 tipos (IA, 2004):



Em 2009, a WHO publicou as diretrizes de ruído para o período noturno, onde são apresentadas evidências dos danos na saúde da exposição ao ruído noturno, recomendando valores limite que devem ser respeitados. Uma exposição média anual noturna inferior a 40 dB (A) é o recomendado. No referido documento, são também indicados diferentes efeitos, expressos na Tabela 2, na saúde da população para diferentes níveis de pressão sonora no período noturno.

**Tabela 2 – Efeitos na saúde observados na população para diferentes intervalos de pressão sonora (TORBJÖRN, Å., [Et al.], 2009).**

$L_n$	Efeitos na saúde observados na população
<30 dB (A)	Embora as sensibilidades individuais e as circunstâncias sejam diferentes, parece que até este nível não são observados efeitos biológicos substanciais.
30 – 40 dB (A)	Uma série de efeitos são observados a aumentar: os movimentos do corpo, auto relatos de distúrbios de sono e despertares. A intensidade do efeito depende da natureza da fonte e do número de eventos. Os grupos mais vulneráveis (crianças, idosos e pessoas com doenças crónicas) são mais suscetíveis. No entanto, mesmo nos piores casos, os efeitos parecem modestos.
40 – 55 dB (A)	São observados efeitos adversos na saúde entre a população exposta. Muitas pessoas têm de adaptar as suas vidas por forma a lidar com o ruído noturno. Os grupos vulneráveis são mais severamente afetados.
>55 dB (A)	A situação é considerada cada vez mais perigosa para a saúde pública. Os efeitos adversos na saúde ocorrem com maior frequência e uma porção considerável da população é perturbada durante o sono.

Na Figura 1 é apresentada, de forma esquemática, uma relação entre o número de pessoas afetadas em função da severidade dos efeitos provocados pela exposição ao ruído.

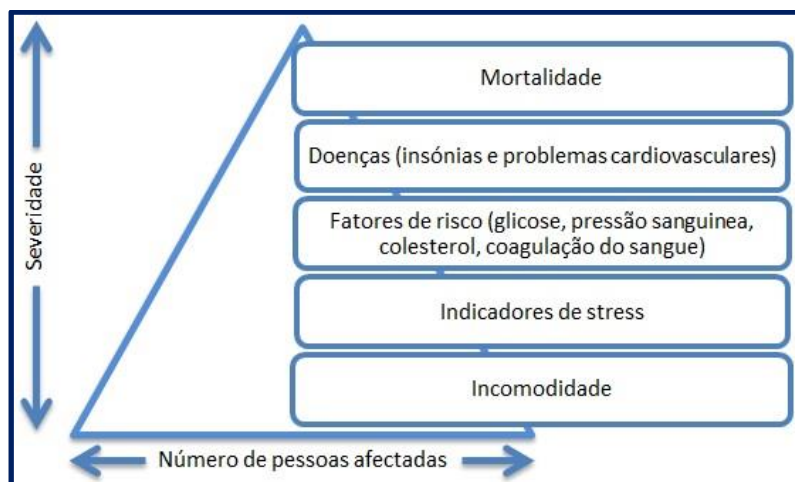


Figura 1 - Relação entre severidade dos efeitos do ruído e número de afetados (adaptado de BABISCH, W., 2002).

Com o aumento dos níveis de pressão sonora, maiores e mais nefastos são os efeitos provocados na saúde pelo ruído. A Figura 2 mostra os efeitos negativos relacionados com diferentes intervalos de pressão sonora.

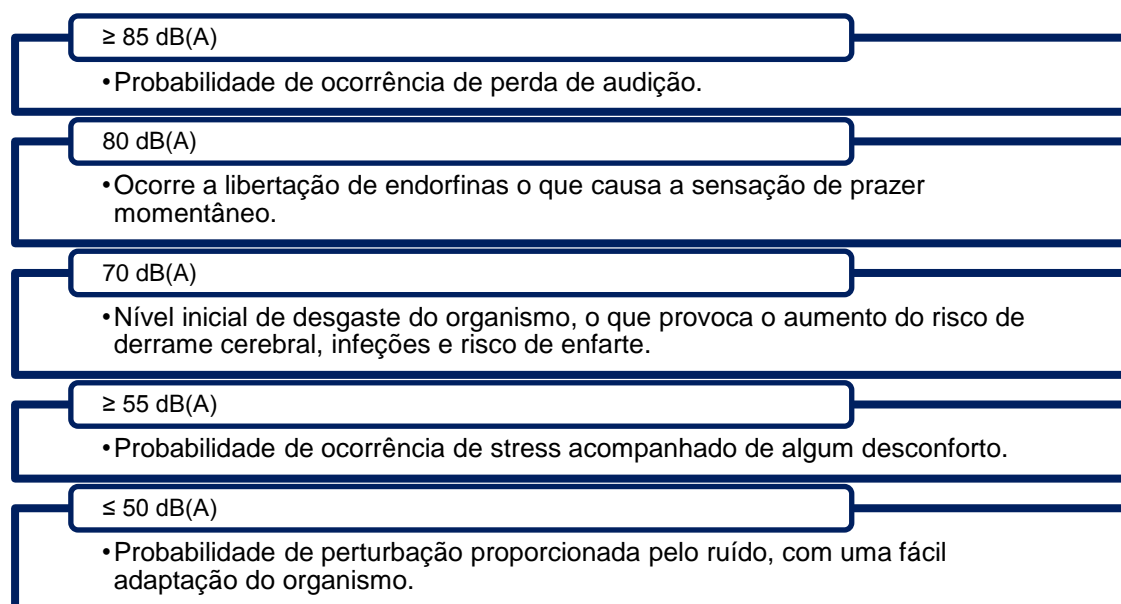


Figura 2 – Efeitos provocados pelo aumento de ruído (adaptado de BERGLUND, B., [Et al.], 1999).

### 3.2 Enquadramento legislativo relativo ao ruído

A Lei n.º 11/87 de 7 Abril, denominada como Lei de Bases do Ambiente, veio enquadrar toda a legislação dispersa que existia sobre o ambiente. Esta Lei (posteriormente revogada) tinha como princípio geral o direito de todos os cidadãos a um ambiente humano e ecologicamente equilibrado, promovendo a melhoria da qualidade de vida, otimizando e garantindo a utilização dos recursos naturais como pressuposto básico de um desenvolvimento autossustentado. No

artigo 22.º desta Lei, é visada a luta contra o ruído, a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações através de várias medidas nela descritas. Também no ano de 1987 surgiu o Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), com o Decreto-Lei n.º 251/87 de 24 de Junho. Neste diploma foram especificados os limites de ruído para várias atividades que geram ruído.

Depois deste diploma, saiu a Portaria n.º 879/90 de 20 de Setembro, que obrigava a que os equipamentos que emitiam um nível de potência sonora superior a 80 dB, a possuir uma indicação do seu nível sonoro. Posteriormente surgiu a Portaria n.º 77/96 de 9 de Março, transpondo a Diretiva n.º 95/27/CE para a ordem jurídica nacional, alterando parte da Portaria n.º 879/90 de 20 de Setembro.

Passados 2 anos foi criado o Decreto-Lei n.º 292/89 de 2 Setembro que, em termos práticos, veio reescrever alguns artigos presentes no Decreto-Lei n.º 251/87 de 24 de Junho.

Em 1992 saíram dois novos diplomas, o Decreto-Regulamentar n.º 9/92 de 28 de Abril e o Decreto-Lei n.º 72/92 de 28 de Abril. O Decreto-Lei n.º 72/92 de 28 de Abril, que transpôs a diretiva n.º 86/188/CEE, que estabelecia o quadro geral de proteção dos trabalhadores contra riscos decorrentes de exposição ao ruído durante o trabalho, visando uma melhor saúde e segurança para os trabalhadores. Estes dois Decretos-Lei foram revogados pelo Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2003/10/CEE, diretiva esta que veio revogar a Diretiva n.º 86/188/CEE. O Decreto-Lei n.º 182/2006 encontra-se em vigor e estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos provocados pelo ruído.

O Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, veio rever o RGR, revogando os Decretos-Lei n.ºs 251/87 de 24 de Junho e 292/89 de 2 de Setembro. Este diploma foi posteriormente alterado e complementado pelos Decretos-Lei n.ºs 259/2002 de 23 de Novembro, 129/2002 de 11 de Maio, 76/2002 de 26 de Março, 293/2003 de 19 de Novembro e 146/2006 de 31 de Julho (Diretiva de Ruído Ambiente - DRA).

O Decreto-Lei n.º 259/2002 de 23 Novembro, veio reescrever alguns dos artigos do Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, para que as disposições estabelecidas no RGR obtivessem uma melhor eficácia.

O Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, estabeleceu o Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), com vista a melhorar as condições de qualidade acústica dos mesmos. Nesse âmbito, este diploma veio complementar o Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro. Em 2008, surgiu o Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, que veio alterar alguns artigos do Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, republicando o RRAE. Estes diplomas encontram-se em atualmente em vigor.

O Decreto-Lei n.º 76/2002 de 26 de Março, transposto da Diretiva n.º 2000/14/CE, veio revogar alguns artigos do Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro e ainda as portarias n.ºs 879/90

de 20 de Setembro, e 77/96 de 9 de Março. Este, veio regulamentar a potência de ruído de equipamentos. Em 2006 este Decreto-Lei foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 221/2006 de 8 de Novembro, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2005/88/CE, Diretiva essa que revogou a diretiva anterior n.º 2000/14/CE. O Decreto-Lei n.º 221/2006 de 8 de Novembro, estabelece as regras em matéria de emissões sonoras relativas à colocação no mercado e entrada em serviço de equipamentos para utilização no exterior.

O Decreto-Lei n.º 293/2003 de 19 de Novembro, estabelece as regras e os procedimentos para a introdução de restrições de operação relacionadas com o ruído nos aeroportos, aplicando-se ao transporte aéreo comercial e à aviação em geral. Este diploma transpõe a diretiva 2002/30/CE relativa ao estabelecimento de regras e procedimentos para a introdução de restrições de operação relacionadas com o ruído nos aeroportos comunitários.

O Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, diz respeito à avaliação e gestão do ruído ambiente, determinando a aprovação de planos de ação baseados nos mapas estratégicos de ruído a fim de prevenir e reduzir o ruído ambiente. Esta prevenção/redução deve ser efetuada sempre que necessário e em especial quando os níveis de exposição sejam suscetíveis de provocar efeitos prejudiciais para a saúde. Este Decreto-Lei veio transpor a Diretiva n.º 2002/49/CE para a ordem jurídica nacional. A diretiva 2002/49/CE, de 25 de Junho, tem como objetivo fornecer uma base comum para tratar dos problemas do ruído em toda a União Europeia (UE). Este aspeto pode ser conseguido através de três mecanismos: a determinação da exposição ao ruído ambiental através de mapas de ruído com base em métodos comuns de avaliação; adoção de planos de ação dos estados membros com base em resultados de cartografia do ruído; acesso público às informações sobre o ruído ambiente e os seus efeitos.

O Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, trouxe o novo RGR, revogando assim o anterior, disposto no Decreto-Lei 292/2000 de 14 de Novembro, revogando também o Decreto-Lei n.º 259/2002 de 23 de Novembro. Este novo diploma sobre o RGR veio também fazer alterações ao Decreto-Lei n.º 310/2002 de 18 de Dezembro, que regula o regime jurídico do licenciamento, e a Portaria n.º 138/2005 de 2 de Fevereiro, que estabelece o regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial.

O Decreto-Lei n.º 9/2007 foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto e retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de Março.

Por fim, a Lei n.º 11/87 de 7 Abril, foi recentemente revogada pela Lei n.º 19/2014.

Toda a evolução legislativa dissecada nos parágrafos anteriores está esquematizada na Figura 3.



Atualmente, o RGR e a DRA são os principais diplomas que servem como base para todo o tipo de conformidades referentes ao ruído ambiente. O RGR aplica-se às atividades ruidosas permanentes, temporárias, às infraestruturas de transporte assim como a outros tipos de fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade e ainda ao ruído de vizinhança. Já a DRA estabelece a obrigação da recolha de dados acústicos, elaboração de relatórios sobre o ambiente acústico e de planos de ação, por forma a criar a base para a definição da futura política comunitária neste domínio. É apenas aplicada às grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo, assim como às aglomerações de maior expressão populacional.

A circulação ferroviária insere-se na descrição patente no artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que define como “ **«Infraestrutura de transporte»** a instalação e meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário;”. Ainda no mesmo diploma, no artigo 19.º é referido que:

“**1** - As infraestruturas de transporte, novas ou em exploração à data de entrada em vigor do presente Regulamento, estão sujeitas aos valores limite fixados no artigo 11.º;”

“**3** – Para efeitos do disposto nos números anteriores, devem ser adotadas as medidas necessárias, de acordo com a seguinte ordem crescente:

- a) Medidas de redução na fonte de ruído;
- b) Medidas de redução no meio de propagação de ruído;”

O mesmo diploma define ainda mais alguns aspetos a ter em conta às atividades ruidosas, tais como:

**Diferenciação entre zona sensível, mista e urbana consolidada (artigo 3.º, alíneas v, x e z):**

- **Zona sensível** – “Área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno”;

- **Zona mista** – “Área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível”;

- **Zona urbana consolidada** – “A zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação”.

**Infraestrutura de transporte (artigo 3.º, alínea h):**

- “A instalação e meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário”;

**Grande infraestrutura de transporte ferroviário (artigo 3.º, alínea f):**

- “O troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto Nacional do Transporte Ferroviário onde se verifique mais de 30000 passagens de comboios por ano”;

**Períodos de referência (artigo 3.º, alínea p):**

- Diurno – das 07h00 às 20h00;
- Entardecer – das 20h00 às 23h00;
- Noturno – das 23h00 às 07h00;

**Indicadores de ruído (artigo 3.º, alíneas j, l, m e n):**

- $L_{den}$  – Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, o indicador de ruído expresso em dB (A), associado ao incómodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[ 13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

- $L_d$  – Indicador de ruído diurno, o nível sono médio de longa duração, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano.
- $L_e$  – Indicador de ruído entardecer, o nível sonoro médio de longa duração, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano.
- $L_n$  – Indicador de ruído noturno, o nível sonoro médio de longa duração, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

**Valores limite de exposição máxima (artigo 11.º):**

A Tabela 3 resume os valores limite dos níveis de pressão sonora de acordo com o indicador e com a zona.

**Tabela 3 - Valores limite de  $L_{den}$  e  $L_n$  para as diferentes zonas.**

Tipo de Zona	$L_{den}$ dB (A)	$L_n$ dB (A)	Especificidades
<b>Não classificada</b>	63	53	<b>Observação:</b> A delimitação e a disciplina das zonas sensíveis e das zonas mistas são de acordo com o n.º 2, do Artigo 6.º, do RGR, responsabilidade dos municípios, mas na sua ausência a zona é considerada “Não classificada”.
<b>Mista</b>	65	55	-
<b>Sensível</b>	55	45	-
<b>Sensível com especificidades</b>	65	55	Proximidade de uma grande infraestrutura de transporte em exploração a 01/02/2007.
	65	55	Proximidade de uma grande infraestrutura de

Tipo de Zona	$L_{den}$ dB (A)	$L_n$ dB (A)	Especificidades
			transporte aéreo projetada à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território.
	60	50	Proximidade de uma grande infraestrutura de transporte não aéreo projetada à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território.

### Implementação de medidas de minimização (artigo 19.º, n.º 3)

- Medidas de redução de fontes de ruído;
- Medidas de redução no meio de propagação de ruído.

O Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, estabelece a base jurídica para a realização dos mapas estratégicos de ruído e dos correspondentes planos de ação. No referido Decreto-Lei, é indicado, no Anexo II, que para o ruído de tráfego ferroviário se deve usar o método de cálculo nacional *Standaard-Rekenmethode II* dos Países Baixos, publicado na «Reken – Meetvoorschrift Railverkeerslawaal’96, Ministerie Volkshulsvesting, Ruimtellijke Ordering en Milieubeheer, 20 de Novembro de 1996». É também referido que “em alternativa, desde que seja demonstrada a obtenção de resultados equivalentes, pode ser utilizado outro método adaptado e validado ao material ferroviário e às condições de circulação em território nacional”.

## 3.3 Medições de ruído

### 3.3.1 Medição de $L_{Aeq}$ e $L_{max}$

A avaliação de ruído ambiente efetua-se com base em indicadores de ruído. A determinação desses indicadores, pode efetuar-se através de métodos de medição de ruído, por métodos de previsão ou modelação calibrados e validados, ou ainda pela combinação dos valores obtidos por medição com os valores calculados pelos métodos de previsão. As medições de ruído devem ser sempre realizadas de acordo com os procedimentos descritos na legislação em vigor (ANTUNES, S.M., [Et al.], 2008).

Os indicadores de ruído são definidos no RGR como “o parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano.” Estes indicadores estão em concordância com a normalização existente relativa ao procedimento de medição de ruído ambiente, atualmente em vigor na norma NP ISO 1996:2011.

No RGR é abordado o  $L_{den}$ , entretanto já referenciado no subcapítulo “Enquadramento legislativo relativo ao ruído” do presente trabalho. Para além destes indicadores, é de referir ainda o nível

sonoro contínuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq,T}$ ) que corresponde ao valor do nível de pressão sonora ponderado A de um ruído uniforme que, no intervalo de tempo T, tem o mesmo valor eficaz da pressão sonora do ruído considerado, cujo nível varia em função do tempo, dado pela seguinte fórmula:

$$LA_{eq}T = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int \frac{P A^2(t)}{P_0^2} dt \right] dB(A)$$

O nível de avaliação ( $L_{Ar}$ ) consiste no nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado das correções devidas às características tonais e impulsivas do som, dado pela fórmula:

$$L_{Ar} = LA_{eq,T} + K1 + K2$$

Na norma NP ISO 1996:2011 é indicado o procedimento de medição de  $L_{eq}$  e  $L_{max}$  para tráfego ferroviário. Assim sendo, e citando a referida norma:

**“Medição de  $L_{eq}$**  – As medições devem incluir o ruído proveniente da passagem de, pelo menos, 20 comboios. Cada categoria de comboios com potencial contribuição significativa para o valor global de  $L_{eq}$  deve ser representada com um mínimo de 5 passagens. Se necessário, as medições devem ser prolongadas para um dia subsequente.”

**“Medição de  $L_{max}$**  – Na determinação do nível máximo de pressão sonora para uma categoria de comboios, deve ser registado o nível máximo de pressão sonora obtido em, pelo menos, 20 passagens. Caso não seja possível obter esta quantidade de registos, deve ser mencionado no relatório o número de passagens de comboios objeto de medição e a correspondente influência na incerteza de medição.”

### 3.3.2 ISO 3095:2013

A norma ISO 3095:2013 é utilizada como referência para medições de ruído emitidas por comboios. Esta norma especifica os métodos e as condições de medição de modo a obter os níveis de emissão de ruído exterior para todo o tipo de material circulante que opere em linhas de caminho-de-ferro. A norma não inclui, no entanto, todas as instruções de modo a caracterizar a emissão de ruído das outras fontes ou da circulação noutras infraestruturas associadas, tais como pontes, cruzamentos, ruído de impactos, ruído de curva, entre outros. Assim sendo a ISO 3095:2013 não é aplicável a:

- Emissão de ruído das unidades de manutenção da linha, no momento da sua operação;
- Avaliação de impacte ambiental;
- Avaliação de emissões de ruído;
- Ruído dos sinais de advertência;
- Autocarros guiados.

Os resultados obtidos pela norma podem ser utilizados para:

- Caracterizar o ruído exterior emitido pelas unidades;
- Comparar a emissão de ruído de várias unidades numa secção de via particular;
- Recolher dados de fontes básicas para as unidades.

### 3.3.3 Instrumentos de medição de ruído

Existem diversos instrumentos que podem ser utilizados para medições de ruído. Dependendo do objetivo escolhe-se o tipo de instrumento mais conveniente. Os mais utilizados são o sonómetro e o dosímetro. No caso do dosímetro, este tem como finalidade medir a exposição de trabalhadores ao ruído, sendo usado essencialmente na avaliação de risco de danos na audição, em resultado da exposição de indivíduos ao ruído de elevada intensidade (e.g. BIES, D.A., HANSEN, C.H., 2009).

Quanto ao sonómetro, este tem como principal objetivo a medição do nível sonoro. Os sonómetros disponíveis no mercado variam no que concerne a sua especificidade, ou seja, quanto ao tipo de descritores de som que permitem obter. Os mais simples têm filtro de ponderação A e exibem as suas leituras de um único nível sonoro, ao passo que os mais sofisticados podem ser calibrados e possuem mais do que um filtro de ponderação. Estes possibilitam a existência de medições em várias bandas de frequência (e.g. BIES, D.A., HANSEN, C.H., 2009).

De um modo geral, os sonómetros podem ser divididos em 2 categorias principais:

- **Tipo 1/Classe 1** – Sonómetros de alta precisão e por consequência os mais caros, com preços cifrados na casa dos milhares de euros, consoante a marca.
- **Tipo 2/Classe 2** – Sonómetros de utilização geral e com preços bastante mais acessíveis que os sonómetros do tipo 1/classe 1.

Os sonómetros são o equipamento adequado para a realização de medições de ruído. No entanto, e devido ao seu custo a sua utilização massiva, por exemplo em redes espaciais muito densas, poderá ser inviável.

No entanto, com o evoluir da tecnologia, estão a surgir novos sistemas de medição designados por sensores de baixo custo (*low cost*) e que simultaneamente consomem quantidades reduzidas de energia, podendo ser utilizados para a medição espacial de ruído. Os sensores de ruído *low cost* podem estar ligados por redes de comunicação sem fios (Wireless Sensor Network (WSN)) sendo os dados enviados de forma a serem arquivados e tratados de forma centralizada.

### 3.3.4 Fatores que afetam a medição de ruído

As medições de ruído são afetadas por diversos fatores, tanto de origem natural como do próprio manuseio do sonómetro. De maneira a que as medições resultem em dados de qualidade, é

necessário minimizar/eliminar as fontes suscetíveis de provocar erros. As principais fontes que podem provocar erros são (e.g. BIES, D.A., HANSEN, C.H., 2009):

**Ruído de fundo** – É necessário verificar se esta espécie de ruído poderá afetar as medições. Assim sendo, se possível, a fonte em estudo deverá estar desligada para que se proceda à medição do ruído de fundo. Caso se denote uma diferença igual ou inferior a 10 dB (A) entre o nível sonoro total e o ruído de fundo, quando a fonte em estudo se encontra desligada, deve se efetuar uma correção nas leituras obtidas.

**Manuseio correto do instrumento de medição** – O instrumento de medição deve estar afastado de campos magnéticos assim como de vibrações, de modo a que o microfone não seja afetado. Assim sendo, deve ser dada atenção às instruções fornecidas pelo fabricante.

**Reflexões de superfícies próximas** – A perturbação de objetos adjacentes à fonte de ruído poderá afetar as medições provocando a recolha de dados que não correspondem totalmente à realidade.

**Vento** – O vento afeta diretamente as medições, podendo resultar em dados pouco credíveis. É necessária a colocação de um atenuador de vento no microfone do sonómetro.

**Humidade** – O microfone é sensível à humidade, podendo originar auto ruído, pelo que se torna essencial a sua proteção.

## 3.4 Ruído de tráfego ferroviário

No presente subcapítulo são abordados vários temas associados ao ruído de tráfego ferroviário. Assim, inicialmente são identificados os elementos da linha ferroviária. É apresentado o mapa ferroviário nacional e o material circulante a operar nele. Posteriormente é efetuada uma análise à problemática do ruído ferroviário em termos nacionais e europeus assim como a população exposta para ambos os casos. Por fim são identificadas as principais fontes de ruído ferroviário e medidas de mitigação.

### 3.4.1 Elementos da linha ferroviária

Os caminhos-de-ferro são uma parte fundamental da infraestrutura ferroviária. Os seus componentes podem ser classificados em duas categorias, nomeadamente a superestrutura e a subestrutura. As partes mais evidentes da infraestrutura ferroviária, tal como os carris, sistemas de fixação e dormentes fazem parte da superestrutura, enquanto que o balastro, sub-balastro e subleito pertencem à subestrutura (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008). Ambas as categorias (superestrutura e subestrutura) são importantes para garantir o conforto dos passageiros. A Figura 4 mostra os vários componentes de uma linha ferroviária.

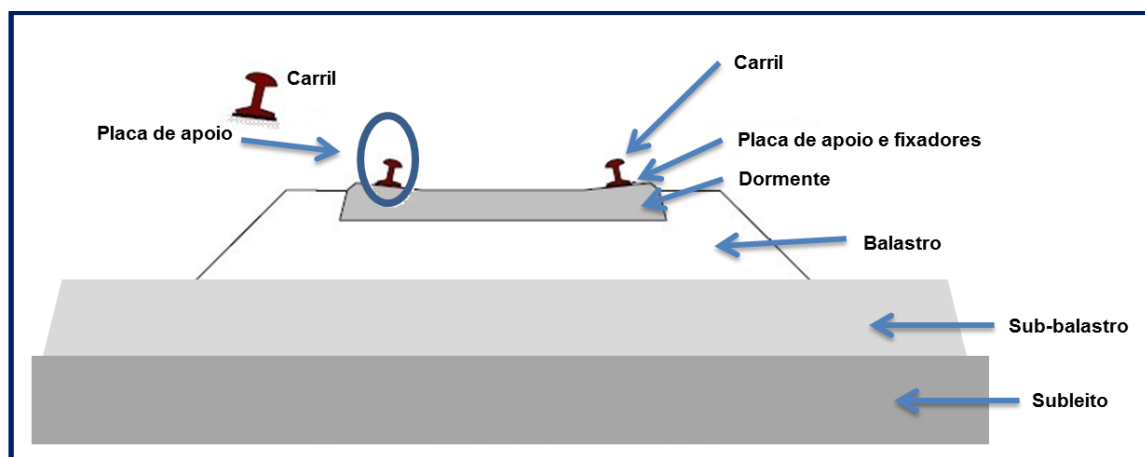


Figura 4 – Componentes de uma linha ferroviária (adaptado de KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008).

### 3.4.1.1 Carris

Os carris são membros de aço colocados em travessas espaçadas (dormentes) por forma a guiar o material circulante. A sua resistência e rigidez são suficientes para manter a configuração da pista estável e resistir aos diferentes tipos de forças exercidas pelo material circulante. Uma das suas principais funções é transferir as cargas da roda para os dormentes (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008). Como se pode ver na Figura 5 o perfil de um carril é dividido em três partes diferentes. As particularidades de cada uma das partes são (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008):

- **Cabeça do carril** – A parte superior do carril, que está em contacto com a roda do material circulante;
- **Alma do carril** – A parte intermédia do carril que suporta a cabeça do carril e que a liga ao pé do carril;
- **Pé do carril** – Base inferior do carril que assenta sobre os dormentes e que distribui a força da alma do carril para os dormentes e balastro.

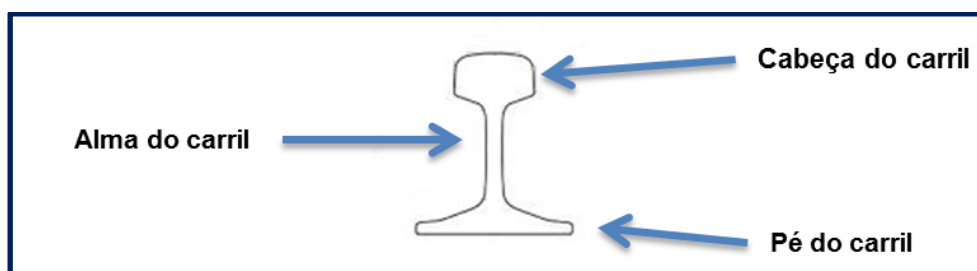
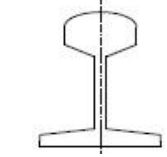
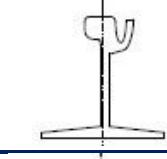
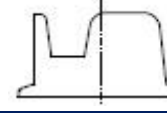
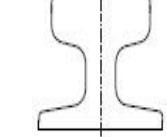


Figura 5 - Perfil de um carril.

A Tabela 4 mostra diversos perfis típicos encontrados em linhas de ferro, assim como as suas aplicações.

Tabela 4 - Tipos de carris e suas aplicações (adaptado de ESVELD, C., 2001).

Formato	Tipo de perfil	Aplicações
	De fundo plano	Linha ferroviária padrão.
	Tipo boca	Linha ferroviária embutida em pavimentos e estradas.
	Tipo bloco	Linha ferroviária usada em lajes de betão.
	Tipo grua	Guindastes de içamento de cargas pesadas.

### 3.4.1.2 Sistema de fixação

O sistema de fixação inclui todos os componentes que ligam o carril ao dormente, que são o fixador e a placa de apoio (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008). A Figura 6 contém uma pequena parte dos componentes que compõem uma linha ferroviária, onde se pode identificar o carril assente no dormente com o fixador e a placa de apoio a atuarem como sistemas de fixação.

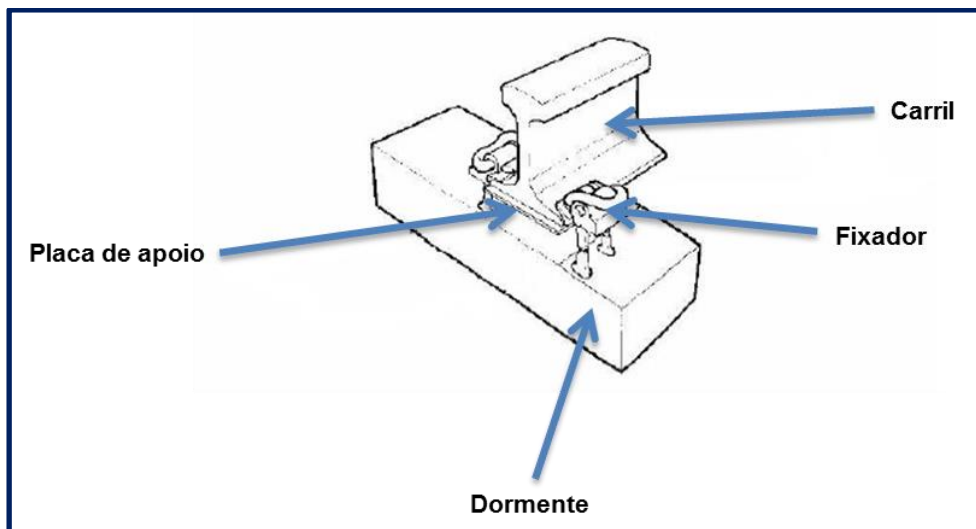


Figura 6 - Típico sistema de fixação (adaptado de STEFFENS, D.M., 2005).

## Fixadores

Os fixadores têm a finalidade de ligar os carris ao dormente, transmitindo a carga de um para o outro, mantendo a bitola no lugar. Para além disso, servem também para absorver a vibração e o impacto de riscos naturais e para isolamento elétrico entre o carril e o dormente. Existem vários tipos de fixadores, logo a sua aplicação depende das características da estrutura e dos dormentes que irão ser utilizados (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008).

Existem dois tipos de fixações, designadamente as fixações rígidas e as elásticas. A Figura 7 mostra um exemplo de cada uma delas. As características de cada uma das fixações são (BRONZATTI, G.D., 2009):

**Fixações rígidas** – Compostas por pregos e parafusos. Este tipo de fixação solta com o tempo devido à vibração, perdendo a capacidade de resistir a cargas.

**Fixações elásticas** – Estas têm como maior característica manter a pressão constante sobre o carril. É indicado para trilhos com soldadura.



Figura 7 - Tipos de fixações.

## Placas de apoio

As placas de apoio são colocadas sobre a base do carril de modo a filtrar e transferir as forças do carril e dos fixadores para os dormentes (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008).

### 3.4.1.3 Dormentes

Os dormentes são peças colocadas transversalmente à linha ferroviária, sobre os quais se fixam os carris. Estes podem ser de madeira, aço, plástico e betão. No que diz respeito aos últimos, existem os monobloco (uma única peça de betão) e bi-bloco (duas peças de betão, uma e cada lado da linha, ligados entre si por um perfil de aço). A Figura 8 mostra um exemplo de cada um dos dormentes feitos de betão, assim como dos dormentes de madeira. A Tabela 5 indica qual dos dormentes se aplica melhor em diversas situações.



Figura 8 – Dormentes madeira, bi-bloco e monobloco.

Os dormentes têm diversas finalidades, entre as quais (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008):

- Distribuição das pressões dos carris sobre o balastro;
- Manutenção correta da bitola;
- Fixação e garantia de alinhamento dos carris.

Tabela 5 - Tipos de material para dormentes e suas características (ALVES, G.K.A., SINAY, M.C.F., 2005).

Material	Madeira	Aço	Plástico	Betão
<b>Característica</b>				
<b>Propriedades mecânicas</b>	Elevada elasticidade e flexibilidade	Média estabilidade	Elevada leveza	Elevada durabilidade e baixa elasticidade
<b>Custo de aquisição</b>	Baixo	Elevado	Elevado	Elevado
<b>Durabilidade</b>	Média	Elevada	Elevada	Elevada
<b>Reutilização</b>	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Necessidade de tratamento químico para proteção</b>	Sim	Não	Não	Não
<b>Resistência a descarrilamentos</b>	Elevada	Elevada	Baixa	Baixa

#### 3.4.1.4 Bitola

A bitola é a distância que se verifica entre as faces internas dos carris. A medida padrão utilizada em toda a Europa é de 1435 mm. No entanto, na Península Ibérica utiliza-se uma bitola de 1668 mm (denominada de via larga). Em Portugal existem também algumas linhas ferroviárias onde a bitola é de 1000 mm (denominada de via estreita).

Devido a este fator torna-se impossível que haja material circulante (de passageiros ou de mercadorias) de outros países europeus a circular na Península Ibérica e vice-versa.

#### 3.4.1.5 Balastro

O balastro corresponde à camada de material onde assentam os dormentes. Um bom balastro deve ter características de resistência, estabilidade, durabilidade, limpeza e drenabilidade (CABRAL, A.C.B., 2005).

As principais finalidades de um balastro são (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008):

- Distribuir a carga da linha e do material circulante uniformemente sobre a plataforma;
- Estabilizar a via do ponto de vista vertical, longitudinal e lateral;
- Manter os dormentes na posição correta;
- Servir de barreira ao crescimento da vegetação;
- Fornecer uma camada isolante com alguma resistência elétrica;
- Facilitar a reconstrução da pista;
- Fornecer drenagens rápidas dos fluídos.

Os materiais que são usados com mais frequência como balastro são (CABRAL, A.C.B., 2005):

- **Terra** – O mais barato, mas o pior para as funções pretendidas, devido à fácil criação de vegetação.
  - **Areia** – Não se altera na presença de água, oferece boa drenagem e resistência mas produz poeiras de grãos o que é prejudicial aos carris e rodas, causando desgaste prematuro.
  - **Cascalho** – Melhor do que a areia, pois não é arrastado pelas águas e pelo vento.
  - **Escória** – Quando sofre tratamento para se tornar balastro é considerado um bom material, inferior somente à brita.
  - **Brita** – Considerado o melhor material para balastro. É resistente, inalterável a agentes atmosféricos, permeável e permite um perfeito nivelamento.

#### 3.4.1.6 Sub-balastro

O sub-balastro é uma camada que fica colocada logo abaixo do balastro. Este é composto por escória, embora por vezes sejam usados compostos de cascalho ou areia. O sub-balastro é geralmente impermeável e as suas funções, entre outras, são (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008):

- Reduzir a pressão na parte inferior da camada do balastro;
- Prevenir a penetração a partir da migração ascendente de partículas para a camada de balastro;
- Funciona como camada de drenagem, por forma a manter a água afastada do subleito.

#### 3.4.1.7 Subleito

O subleito é o último elemento da linha ferroviária. Este contém solo e pedras. Este deve ser alvo de compactação de maneira a que a sua resistência aumente, pois esta camada deve ter capacidade de carga suficiente para proporcionar uma boa drenagem. Alguns materiais sintéticos, como tecidos e geotêxtil, têm sido usados para melhorar a sua capacidade (e.g. KAEWUNRUEN, S., REMENNIKOV, A.M., 2008).

### 3.4.2 Rede ferroviária portuguesa

Nos dias de hoje, Portugal possui uma rede ferroviária nacional bem definida e caracterizada, com vários órgãos e entidades que a tutelam. Assim sendo, as principais entidades nacionais no que diz respeito ao transporte ferroviário são:

**Instituto da mobilidade e dos transportes (IMT)** - É um organismo da administração indireta do Estado que prossegue atribuições do Ministério da Economia e do Emprego e que tem por missão (IMT, 2012):

- Regular, fiscalizar e exercer funções de coordenação e planeamento no sector dos transportes terrestres;
- Regular e fiscalizar o sector das infraestruturas rodoviárias e supervisionar e regulamentar a execução, conservação, gestão e exploração das mesmas;
- Supervisionar e regular a atividade económica do sector dos portos comerciais e transportes marítimos.

**REFER** – Tem como objetivo principal o serviço público de gestão de infraestruturas integrante da rede ferroviária nacional, desenvolvendo as suas atividades de acordo com princípios de modernização e eficácia, de modo a assegurar o regular e contínuo fornecimento do serviço público e proporcionando ao mercado uma infraestrutura de transporte competitiva e segura, respeitando o ambiente. As atividades da REFER incluem (REFER, 2010):

- A construção, instalação e renovação de infraestrutura ferroviária;
- A gestão da capacidade da rede;
- O comando e controlo da circulação;
- A conservação e manutenção da infraestrutura.

**Comboios de Portugal (CP)** - A empresa CP é uma empresa portuguesa de transporte ferroviário, que sucedeu em 2009 à empresa Caminhos de Ferro Portugueses. Tem como objetivo principal a exploração do transporte de passageiros e mercadorias nas linhas ferroviárias, troços de linhas e ramais que se integram na rede ferroviária nacional, bem como dos que nela venham a ser incluídos.

A Tabela 6 indica as diferentes infraestruturas, de acordo com a classificação presente no Decreto-Lei n.º 146/2006, de transporte ferroviário da REFER até ao ano de 2008.

**Tabela 6 – Classificação da infraestrutura de transporte ferroviário da REFER (REFER, 2008).**

Designação	Troço	Extensão (Km)
Grande infraestrutura de transporte ferroviário com	Linha do Minho entre Porto S. Bento e Ermesinde.	11,1
	Linha do Norte entre Lisboa Stª Apolónia e Azambuja.	46,7
	Linha de Sintra.	27,3
	Linha de Cintura entre Campolide e Terminal Técnico de	4,6

Designação	Troço	Extensão (Km)
<b>mais de 60000 comboios por ano (GIF60k+)</b>	Chelas.	
	Linha de Cascais entre Lisboa Cais do Sodré e Oeiras.	16,1
	Concordância de Sete Rios.	0,7
	<b>Total: 106,5</b>	
<b>Grande infraestrutura de transporte ferroviário com mais de 30000 comboios por ano (GIF30k+)</b>	Linha do Minho entre Ermesinde e Lousado.	17,0
	Linha do Douro entre Ermesinde e Penafiel.	29,5
	Linha do Norte entre Azambuja e Porto Campanhã.	289,0
	Ramal da Lousã entre Coimbra-B e Coimbra cidade.	1,7
	Linha do Oeste entre Bifurcação de Meleças e Mira Sintra – Meleças.	2,2
	Linha de Cintura entre Terminal Técnico de Chelas e Braço de Prata.	2,8
	Linha de Cascais entre Oeiras e Cascais.	9,1
	Linha do Sul entre Ponte de Santana e Setúbal.	49,8
<b>Total: 401,1</b>		
<b>Pequena infraestrutura de transporte ferroviário com menos de 30000 comboios por ano (PIF)</b>	Restante rede ferroviária com tráfego.	2321

Existem três tipos de rede em Portugal, a rede principal, a rede complementar e a rede secundária. Cada uma destas redes tem características e funcionalidades distintas. A Figura 9 mostra os traçados de cada uma das redes no território português assim como as zonas por elas abrangidas.



Figura 9 - Mapa de rede ferroviária portuguesa (REFER, 2012a).

Cada rede possui elementos diferenciadores. Assim sendo, as principais características de cada uma das redes são:

- **Rede Principal**

A rede ferroviária principal liga entre si as maiores estações, portos e plataformas logísticas do país, uma vez que são as mais procuradas e as que oferecem geralmente um melhor serviço de transporte. Esta rede está concentrada maioritariamente na zona litoral do país, pois é aí onde se encontram os maiores centros de transporte de mercadorias, tais como os portos ou aeroportos, sendo também a zona do país onde existe uma maior densidade populacional.

- **Rede complementar**

A rede complementar tem a finalidade de cobrir os territórios do país cuja procura é menor garantindo a ligação à rede principal do país. Está maioritariamente direcionada para zonas do país de menor industrialização e com menor densidade populacional, tal como a zona interior de Portugal.

- **Rede secundária**

A rede secundária é essencialmente uma rede responsável pelos serviços de transporte de baixa procura, adaptado às características da respetiva área. Foca-se em servir zonas mais a Este de Portugal e alguns locais situados no litoral que têm uma densidade populacional e taxa de desenvolvimento inferior às zonas servidas pela rede principal e rede complementar.

A Tabela 7 faz uma caracterização da rede nacional no que diz respeito ao tipo de vias e sua extensão.

**Tabela 7 – Caracterização da rede (REFER, 2012b).**

<b>Caracterização da rede</b>	<b>Km</b>	<b>%</b>
<b>Rede ferroviária com exploração</b>	2794	
<b>Via estreita</b>	192	6,9
<b>Via larga</b>	2602	93,1
<b>Via única</b>	2184	76,9
<b>Via múltipla</b>	610	21,8
<b>Rede eletrificada</b>	1629	58,3
<b>Rede eletrificada 25KV</b>	1604	57,4
<b>Rede eletrificada 1500KV</b>	25	0,9
<b>Rede com sistema de controlo de velocidade (Convel Ericab 700)</b>	1637	58,6
<b>Rede com sistema de rádio Solo-Comboio</b>	1531	54,8

Como é possível analisar na Tabela 7, havia no fim do ano de 2011, 2794 Km de rede ferroviária em exploração em Portugal. É de destacar que grande parte desta extensão diz respeito às vias largas (com uma bitola de 1668 mm) com um total de 2602 Km.

No anexo I, na Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62 e Figura 63 são apresentadas diversas características da rede ferroviária nacional, designadamente ao nível dos serviços, das diferentes designações de cada uma das linhas que compõem a rede nacional, do tipo de via (única ou múltipla), do tipo de tensão na via, e das velocidades máximas permitidas.

### 3.4.3 Material circulante

Portugal é abrangido por diferentes tipos de material circulante, desde os Intercidades, Regionais, Urbanos, Suburbanos e o Alfa Pendular. Assim sendo:

**Alfa Pendular:** Material circulante de passageiros que viaja a velocidades superiores aos demais, atingindo um máximo de 220 Km/h e ligando as cidades de Braga, Porto, Aveiro, Coimbra, Lisboa e Faro. O tipo de tecnologia associada a este tipo de comboio permite-lhe fazer curvas a velocidades mais elevadas do que os comboios convencionais (CP, 2014a).

**Intercidades:** Os comboios de passageiros Intercidades são comboios mais rápidos que os Regionais mas mais lentos que o Alfa Pendular, podendo atingir máximos de 200 Km/h. Os comboios Intercidades circulam na linha do Norte, Beira Alta, Beira Baixa, Alentejo e Sul (CP, 2014a).

**Regionais:** Tipo de material circulante vocacionado para percorrer distâncias curtas, ao contrário do Intercidades e Alfa Pendular, sendo que são também mais lentos que os referidos anteriormente. São somente mais rápidos que os urbanos e suburbanos e têm a particularidade de parar num maior número de estações e apeadeiros (CP, 2014a).

**Urbanos e suburbanos:** Os comboios urbanos são os mais lentos parando em todo o tipo de estações e apeadeiros. Apesar da sua lentidão, são usados exaustivamente pois são bastante interessantes do ponto de vista preço/rapidez de serviço (CP, 2014a).

#### Tipos de material circulante de passageiros

Existem em Portugal vários tipos de material circulante a operar. De acordo com a CP, existem dois tipos principais de material circulante: as automotoras e as locomotivas. Assim, na Tabela 8 é possível ver uma caracterização detalhada de cada material circulante atualmente a operar em Portugal. Na Tabela 9 é possível visualizar um exemplo de todos os tipos de material circulante descritos na Tabela 8.

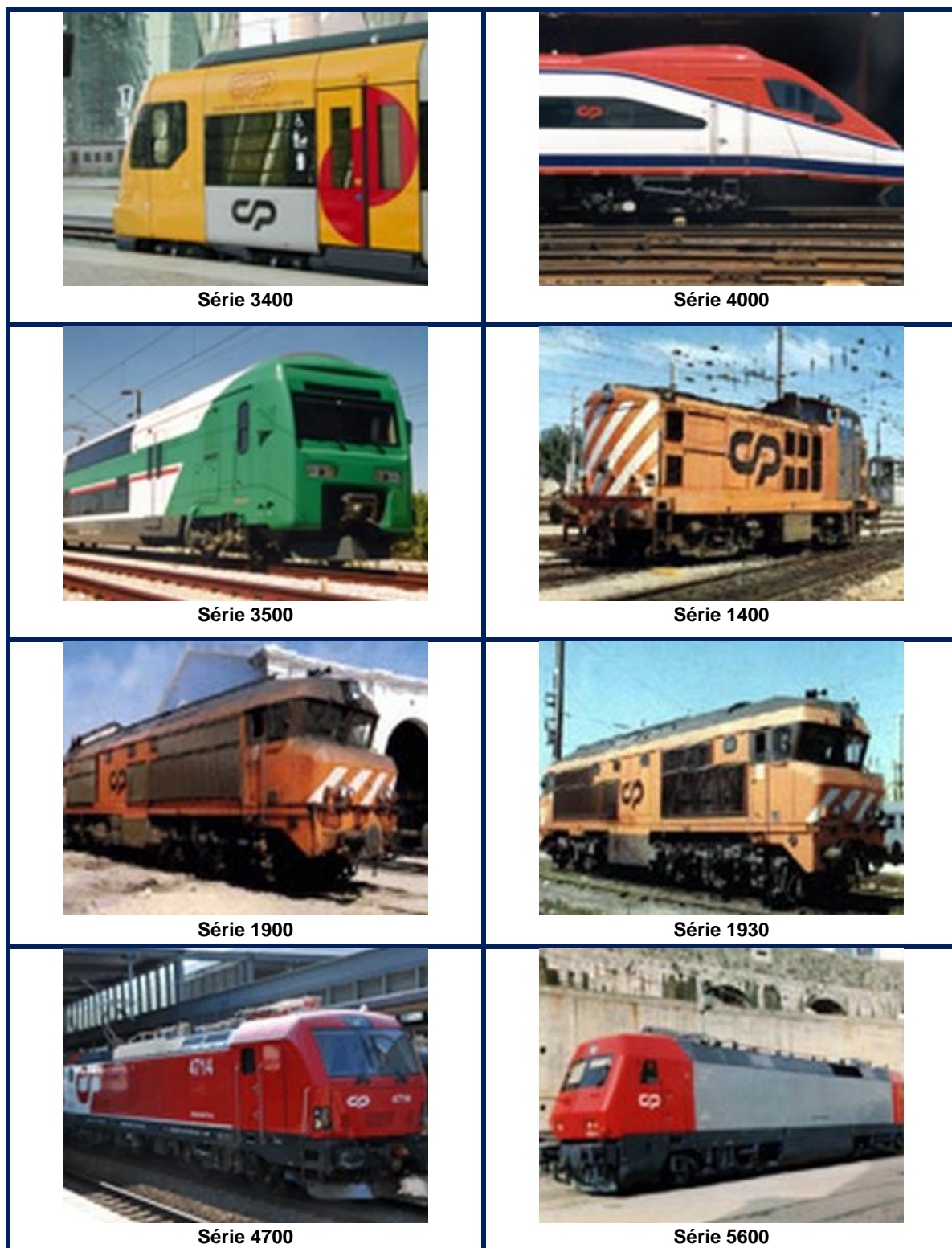
Tabela 8 - Material circulante da CP a operar atualmente em Portugal (CP, 2014b).

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Vel. Máxima (Km/h)	Tipo de transmissão	Uso
<b>Automotoras Diesel</b>					
<b>Série 0300 (0351-0371)</b>	2000 (após modernização)	19	100	Elétrica	Regional e Inter-regional
<b>Série 0450</b>	1999 (após	19	120	Mecânico -	Regional e

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Vel. Máxima (Km/h)	Tipo de transmissão	Uso
(0451-0469)	modernização)			hidráulica	inter-regional
Série 9600 (9601-9637)	1991 (após modernização)	7	90	Elétrica	Regional e Inter-regional
<b>Automotoras Elétricas</b>					
Série 2200 (2241-2297)	2004 - 2005 (após modernização)	57	120	Elétrica assíncrona	Regional e inter-regional
Série 2300 (2301-2342 e 2351-2392)	1992	39	120	Elétrica assíncrona	Suburbano
Série 2400 (2401-2414 e 2451-2664)	1997	14	120	Elétrica assíncrona	Suburbano
Série 3100 (3151-3163, 3255 e 3261-3263)	1998 (após modernização)	17	90	Elétrica	Urbano
Série 3200 (3251-3271)	1998 (após modernização)	17	90	Elétrica assíncrona	Urbano
Série 3400 (3401-3434 e 3451-3484)	2002	34	140	Elétrica assíncrona	Urbano
Série 3500 (3519-3530 e 3569-3580)	1999	12	140	Elétrica assíncrona	Suburbano
Série 4000 (4001-4010 e 4051-4060)	1999	10	220	Elétrica assíncrona	Alfa Pendular
<b>Locomotivas Diesel</b>					
Série 1400 (1401-1467)	1967-1969	24	105	Elétrica	Regional
Série 1900 (1901-1913)	1981	11	100	Elétrica	Intercidades
Série 1930 (1931-1947)	1981	8	120	Elétrica	Intercidades
Série 1960 (1961-1973)	1979	8	120	Elétrica	Regional
<b>Locomotivas Elétricas</b>					
Série 4700 (4701-4725)	2009	25	140	Elétrica assíncrona	Intercidades e mercadorias
Série 5600 (5601-5630)	1993	29	220	Elétrica assíncrona	Intercidades e mercadorias

Tabela 9 - Fotografias do material circulante da CP a operar atualmente em Portugal (CP, 2014b).

 A photograph of a green and white high-speed train (Série 0300) stopped at a station platform.	 A photograph of a blue and white high-speed train (Série 0450) stopped at a station platform.
 A photograph of a blue and red high-speed train (Série 2200) stopped at a station platform.	 A photograph of a red and white regional train (Série 9600) stopped at a station platform.
 A photograph of an orange and white high-speed train (Série 2300) stopped at a station platform.	 A photograph of a red and white high-speed train (Série 2400) stopped at a station platform.
 A photograph of a purple and yellow high-speed train (Série 3100) stopped at a station platform.	 A photograph of a yellow and green high-speed train (Série 3200) stopped at a station platform.



A Tabela 10 identifica o número de circulações por tipo de comboio efetuadas em Portugal no ano de 2011.

**Tabela 10 – Circulações por tipo de comboio (REFER, 2012b).**

<b>Circulações por tipo de comboio</b>	<b>Total</b>	<b>Média diária</b>
<b>Internacionais</b>	2835	8
<b>Longo curso</b>	20615	56
<b>Inter-regionais</b>	14502	40
<b>Regionais</b>	102623	281
<b>Suburbanos</b>	370690	1016
<b>Mercadorias</b>	54719	150
<b>Marchas</b>	82119	225
<b>Total ano</b>	648103	-
<b>Média diária de circulações</b>	-	1776

Como se pode verificar, durante o ano de 2011, houve um total de 648103 circulações, com uma média diária de 1776 circulações em território nacional. Grande parte das circulações são do tipo suburbano, com uma média diária de 1016 circulações, e regional, com uma média diária de 281 circulações.

### **Serviço de mercadorias em Portugal**

O serviço de mercadorias em Portugal serve vários dos principais portos e terminais de mercadorias espalhados por todo o território continental.

A Figura 10 mostra que a rede nacional abrange o porto de Aveiro, Leixões, Figueira da Foz, Lisboa, Setúbal e Sines.

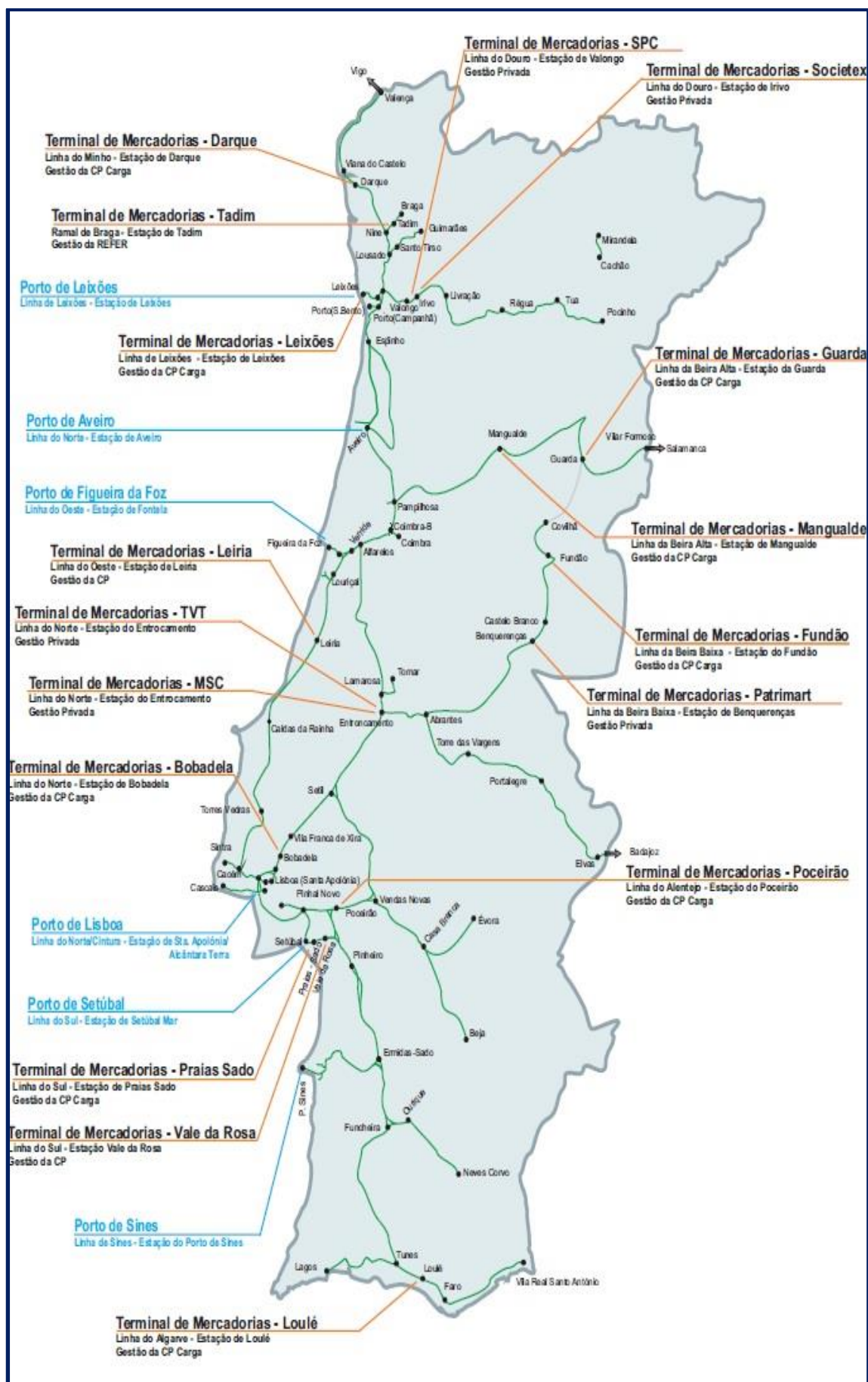


Figura 10 – Mapa de cargas com ligação aos vários terminais e portos (REFER, 2013).

#### 3.4.4 Problemática do ruído ferroviário

Como já foi referido anteriormente, o ruído é um problema no que toca à saúde pública. A sua redução torna-se necessária, não só por razões de conforto, mas também para atenuar efeitos adversos (COM, 2008).

O caminho-de-ferro é, em geral, considerado um dos modos de transporte mais respeitadores do ambiente (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010). Todavia, o contributo do transporte ferroviário para a poluição sonora é significativo com cerca de 10% da população europeia exposta a níveis de ruído elevados, perturbando gravemente 30% da população (COM, 2008; EUROPEAN COMMISSION, 2003).

O ruído de tráfego ferroviário é considerado como o ruído gerado e irradiado lateralmente, em relação à linha ferroviária, somado ao ruído existente dentro das próprias composições. Este tipo de ruído apresenta algumas características particulares: tem uma “assinatura” temporal, ou seja, a passagem de um comboio tem uma evolução no tempo distinta de outro tipo de fontes; a fonte de ruído encontra-se bem situada no espaço (ALARCÃO, D., COELHO, J., 2008).

Dos vários tipos de transporte ferroviário, o transporte de mercadorias é considerado o que tem um maior contributo para o aumento dos níveis de pressão sonora, seguido do transporte ferroviário a alta velocidade e, por fim, os comboios urbanos (EEA, 2009).

O ruído ferroviário do transporte de mercadorias é considerado por unanimidade o mais perturbador. A tecnologia de travagem utilizada (travões de cepo em ferro fundido, que travam nas superfícies das rodas) produz superfícies na roda rugosas e, posteriormente causa elevado nível de vibração nas rodas e nos carris. Aliado a isso, o transporte de mercadorias opera principalmente no período noturno, perturbando o sono da população (COM, 2008). Assim o controlo do ruído de rolamento (entre roda e carril) torna-se essencial. No entanto, a solução de substituir os vagões equipados com travões de ferro fundido é um problema, devido ao facto de eles terem um tempo de vida longo, de cerca de 30 a 40 anos, e de representar a maior parte da frota da Europa, com mais de 600000 vagões (EEA, 2009).

Na atualidade, metade do transporte ferroviário de mercadorias é de cariz internacional, sendo que há uma grande quantidade de vagões que percorrem múltiplas redes internacionais. Dado o longo período de vida útil do material circulante, serão necessários vários anos até que os níveis de pressão sonora do material circulante de mercadorias diminua, caso não sejam adotadas novas medidas, sendo que o problema não poderá ser resolvido de forma satisfatória com a adoção de várias estratégias nacionais. Para além disso, estratégias nacionais desiguais podem ter um impacto negativo, ao nível da concorrência desleal, nos corredores transfronteiriços (COM, 2008).

No que diz respeito ao ruído de transporte de alta velocidade, este causa consideráveis irritações e distúrbios no sono devido ao elevado acréscimo de ruído verificado aquando da sua passagem

num determinado local, quando comparado com o ruído de fundo verificado. Já o ruído ferroviário urbano é perturbante devido ao ruído que emite nas curvas, em locais sensíveis, onde as vias ferroviárias são juntas a edifícios (EEA, 2009).

Em comparação com o ruído proveniente do tráfego rodoviário, o ruído ferroviário afeta menos população, sendo que, na Europa, o ruído do tráfego ferroviário varia de região para região, com especial incidência na Europa Ocidental e ao longo dos principais corredores de transporte europeus. Deste modo, a Diretiva 2002/49/CE, exige aos estados membros para que estes apresentem mapas de ruído e planos de ação.

O ruído ferroviário e o ruído rodoviário apresentam diferentes características, designadamente (OERTLI, J., HUBNER,P., 2010):

- O ruído ferroviário é considerado menos irritante que o rodoviário a um dado nível de pressão sonora;
- O ruído ferroviário é restrito aos corredores estreitos, ou seja, é limitado a áreas em torno de ferrovias;
- O ruído ferroviário produz menos ruído por viagem que o ruído rodoviário, ou seja, afeta um número significativamente menor de pessoas por pessoa transportada ou por tonelada transportada.

Em algumas regiões europeias existe uma considerável oposição do público ao ruído ferroviário, com a exigência de iniciativas políticas que visem a sua redução. Se não forem tomadas medidas corretivas, poderá haver restrições ao tráfego ferroviário ao longo dos mais importantes corredores ferroviários europeus, com principal destaque para os comboios de mercadorias, sendo que os resultados poderão ser prejudiciais para as economias europeias. Por outro lado, uma eventual troca do uso ferroviário pelo rodoviário, nestes corredores, agravaria os impactos ambientais, nomeadamente as emissões de gases com efeito de estufa, visto que as emissões específicas de CO<sub>2</sub> do transporte ferroviário ser significativamente menor do que as de transporte rodoviário (COM, 2008).

A UE, criou em Dezembro de 2005, a *Technical Specifications of Interoperability*, TSI (OERTLI, J., HUBNER,P., 2010). Na TSI, a UE aprova limites de pressão sonora para material circulante novo ou renovado. Nela são estabelecidos diferentes valores para os vários tipos de material circulante, bem como para diferentes situações de funcionamento. Para as ferrovias convencionais, os valores limite para o ruído de passagem de comboios entrou em vigor em Junho de 2006. Esta incluía emissões de ruído para vagões com sistemas de travagem renovados. Já anteriormente, no ano de 2002, tinha entrado em vigor a TSI para os comboios de alta velocidade (COM, 2008). A Tabela 11 indica os limites mais relevantes dos TSI de acordo com o tipo de vagão e a velocidade de passagem. De referir que, nesta análise de emissão de ruído ferroviário, é tido em conta o LA<sub>max</sub>, aquando a passagem de material circulante, a 7,5 metros de distância do eixo da trajetória do mesmo.

Tabela 11 – Valor limite de ruído para vários tipos de material circulante, de acordo com o TSI (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

Tipo de vagão	Valor limite (dB (A))
Novos vagões de mercadorias a 80 Km/h;	82 - 85 dB (A) dependendo do número de eixos por comprimento;
Vagões de mercadorias renovados a 80 Km/h;	84 – 87 dB (A) dependendo do número de eixos por comprimento;
Comboios de passageiros a 80 Km/h;	80 dB (A);
Locomotivas a 80 Km/h;	85 dB (A);
Ruído estacionário de locomotivas;	75 dB (A);
Ruído estacionário de Unidades Múltiplas Elétricas;	68 dB (A);
Ruído estacionário de Unidades Múltiplas a Diesel;	73 dB (A);
Ruído estacionário para comboios de alta velocidade;	<65 dB (A) continuamente ou <70 dB (A) intermitentemente;
Níveis de ruído em serviços de alta velocidade;	<87 dB (A) a 250 Km/h, <91 dB (A) a 300 Km/h e <92 dB (A) a 320 Km/h a 25m de distância e a uma altura de 3,5m.

#### 3.4.4.1 Situação europeia

A situação do ruído de transporte ferroviário na Europa varia de região para região. Assim sendo, o quadro geral é o seguinte (OERTLI, J., HUBNER,P., 2010):

**Europa ocidental incluindo a Itália:** Devido à elevada densidade populacional e ao volume de trânsito de comboios, o ruído ferroviário é um fator importante nestas áreas. Elevados níveis de ruído são atingidos em corredores ferroviários Norte - Sul. Em muitos locais, os habitantes expostos têm-se manifestado contra o ruído provocado pelo transporte ferroviário, especialmente o de mercadorias. Como consequência, tem havido grande pressão por parte da população de modo a que sejam implementadas novas regras por forma a reduzir o ruído.

**Europa central:** A Europa central é caracterizada por um elevado número de circulações ferroviárias, sendo que o mercado proveniente do transporte ferroviário é muito maior aqui do que no resto da UE. A potencial troca do tipo de travões nesta área é bastante complicada devido ao tipo de rodas que os transportes de mercadorias nestas zonas têm. Assim, a sua troca por outro tipo de travões poderia originar alguns problemas, tais como o sobreaquecimento das rodas do comboio.

**Países nórdicos:** O transporte de mercadorias não é um problema nestes locais. A Dinamarca e Noruega não têm muito tráfego ferroviário de mercadorias e na Suécia, este passa em locais com baixa densidade populacional. Para além disso, os programas de prevenção de ruído ferroviário estão atualizados.

**Norte-Este da Europa:** Finlândia, Estónia, Letónia e Lituânia têm bitola de 1524 mm, que as liga à Rússia, o que será sempre um fator importante, aquando da tomada de soluções. É também de referir que a densidade populacional nestes locais é bastante baixa quando comparada com outras regiões, logo o ruído ferroviário é pouco importante nesta zona da Europa.

**Reino Unido:** Aqui o transporte ferroviário opera sob especiais especificações técnicas devido ao facto de, antes da abertura do Canal da Mancha, não haver nenhuma ligação com a Europa. Como resultado disso, muito do tráfego de mercadorias no Reino Unido é menos ruidoso, por já terem sido adotados travões de cepo compósitos, ou travões de disco, o que não obedece com as especificações no resto da Europa. Como resultado disso, o ruído ferroviário é menos problemático no Reino Unido do que noutras zonas da Europa referidas anteriormente.

**Outras áreas da Europa:** Países como a Grécia, Chipre e Malta são países com baixo tráfego ferroviário, não sendo nestes locais uma grande problemática.

#### *3.4.4.2 Situação nacional*

Portugal e Espanha não são países afetados pelo tráfego transfronteiriço como acontece com o resto da Europa, devido a não haver vagões de passageiros e mercadorias de regiões da Europa que circulem na Península Ibérica. Isto deve-se ao facto do tipo de bitola usada na Península Ibérica ser de 1668 mm (em alguns locais também se verifica uma bitola de 1000 mm) ao contrário de grande parte dos países da Europa que utiliza uma bitola de 1435 mm. Assim, não é necessário que Portugal e Espanha tenham de escolher um sistema de travagem com homologação europeia. Deste modo foram introduzidos travões de cepo compósitos, que são pouco ruidosos, mas que não cumprem com os requisitos necessários no resto da Europa (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010). A principal razão da aplicação deste material foi para evitar faíscas que possam provocar incêndios bem como devido ao facto de serem economicamente mais viáveis (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

Até ao ano de 2008 consumou-se um conjunto vasto de intervenções nas vias da rede ferroviária nacional, tendo em vista a sua modernização e em alguns casos a sua alteração, de forma a aumentar a capacidade de transporte, ou de adaptação a novas exigências de circulação em matéria de velocidade e segurança. Os investimentos efetuados constituíram-se, na sua esmagadora maioria, em intervenções em torno dos eixos existentes (REFER, 2008).

Grande parte destes projetos tiveram como base medidas específicas de forma a atenuar os efeitos do ruído, algumas das quais ao abrigo dos anteriores regulamentos legais de gestão das atividades ruidosas (REFER, 2008).

O crescimento urbanístico em torno dos grandes centros urbanos foi levando ao desenvolvimento de novas áreas, que encontraram nas estações e apeadeiros, locais ótimos para a sua expansão, fruto da mobilidade e fácil acesso que ofereciam a esses centros. Assim sendo, e em particular em áreas metropolitanas, foi com naturalidade que com o contínuo crescimento urbanístico, este ficasse consolidado ao redor dos próprios eixos ferroviários. De

acordo com a REFER, este desenvolvimento sem critério, que acautelasse as questões do ruído, constituiu um ónus que recaí sobre a via-ferroviária passando esta a ter que internalizar este custo, algo que, como se compreende, demora tempo e requerer uma conjugação de esforços dentro e fora do sector em que se enquadra (REFER, 2008).

Alguns corredores de via-ferroviária com maior expressão foram alvo de intervenções. Uns viram duplicada ou mesmo quadruplicada a via. As vias existentes foram alvo de intervenção de modo a introduzir melhorias ao nível da superestrutura, destacando-se a substituição dos antigos carris de barra curta, por outros soldados topo a topo (barra longa soldada), assentes em travessas monobloco ou bi-bloco com repercussões benéficas e significativas ao nível do ruído. Por outro lado, a eletrificação contribuiu adicionalmente para esta causa, ao permitir a substituição de material circulante de tração Diesel por material de tração elétrica que, em regra, é mais silencioso e também menos poluente em matéria de emissões atmosféricas (REFER, 2008).

Contudo, em situações em que se regista a duplicação ou quadruplicação da via, a ocupação do espaço necessário à instalação da nova via resulta numa maior proximidade da mesma aos recetores, que noutros casos ocuparam as zonas vizinhas ao eixo existente sem que fossem acauteladas as respetivas consequências. A duplicação ou quadruplicação, apesar de inicialmente não apresentar um acréscimo do número de marchas, fará com que haja um aumento do volume de comboios com o tempo, o que poderá resultar em níveis mais elevados de pressão sonora (REFER, 2008).

No presente ano de 2014, segundo a REFER, e tendo em conta os troços descritos na Tabela 6, todos os troços das grandes infraestruturas ferroviárias com mais de 60000 passagens por ano dispõem de MER aprovados pela APA. A linha de Cintura e a linha de Cascais, respeitantes às infraestruturas ferroviárias com mais de 30000 passagens por ano, encontram-se na mesma situação, ou seja, dispõem também do seu respetivo MER aprovado pela APA. Os troços Entroncamento/Albergaria-dos-Doze e Quintans/Ovar, respeitantes à linha do Norte, assim como o troço Ponte de Santana/Setúbal, respeitante à linha do Sul, dispõem de Mapa de Ruído, não tendo os mesmos sido ainda aprovados por parte da APA.

Todos os troços que dispõem de MER aprovado pela APA enquadram-se num plano de redução de ruído em curso, considerando a prévia necessidade de consolidar os respetivos pressupostos.

### **3.4.5 População exposta ao ruído ferroviário**

O presente subcapítulo faz uma caracterização da atual situação nacional e europeia no que diz respeito à população exposta do ruído proveniente do tráfego ferroviário. Os números apresentados seguidamente são esclarecedores no que diz respeito à necessidade de diminuir o ruído do tráfego ferroviário.

### Situação europeia

Os dados apresentados no que diz respeito à situação europeia referem-se ao período compreendido entre 2012 e Agosto de 2013 e referem-se a todos os países europeus cuja informação é disponibilizada, incluindo países pertencentes à UE, assim como países não integradores da UE, tais como a Suíça ou Noruega. A Figura 11, mostra, para aglomerações com mais de 100 000 habitantes, a população exposta ao indicador  $L_{den}$  e  $L_n$ , para diferentes intervalos de pressão sonora.

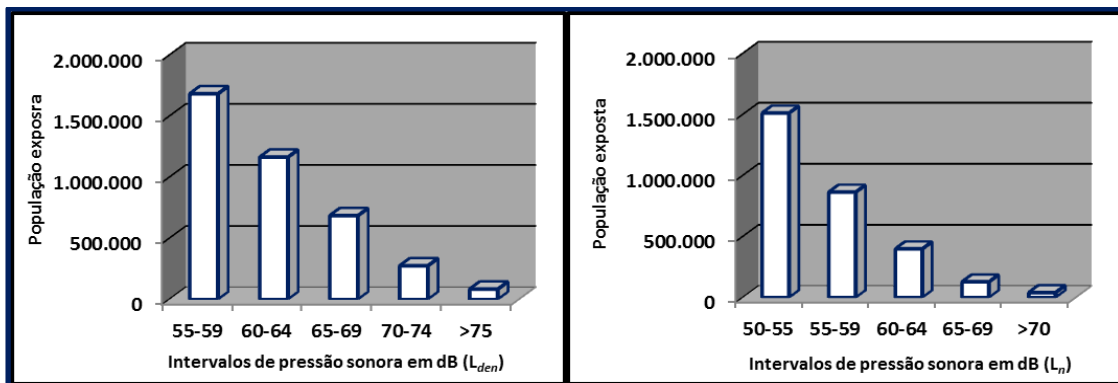


Figura 11 – Exposição ao ruído ferroviário em aglomerações com mais de 100000 indivíduos (NOISE, 2014).

É de destacar os mais de 1,5 milhões de indivíduos expostos a  $L_{den}$  compreendido entre 55 dB (A) e 59 dB (A) e os cerca de 80 mil indivíduos expostos a  $L_{den}$  acima de 75 dB (A). No que diz respeito ao indicador  $L_n$  destacam-se os cerca de 1,5 milhões de indivíduos expostos a  $L_n$  compreendido entre 50 dB (A) e 55 dB (A) e os cerca de 40 mil indivíduos expostos a  $L_n$  acima de 70 dB (A).

### Locais com mais de 30000 passagens de comboios ano:

Os dados seguidamente apresentados dizem respeito a locais próximos a linhas ferroviárias com mais de 30000 passagens de comboios por ano, tanto para a situação fora das aglomerações como para a situação conjunta (dentro e fora das aglomerações).

A Figura 12 mostra, fora das aglomerações, a população exposta ao  $L_{den}$  e ao  $L_n$  para diferentes intervalos de pressão sonora.

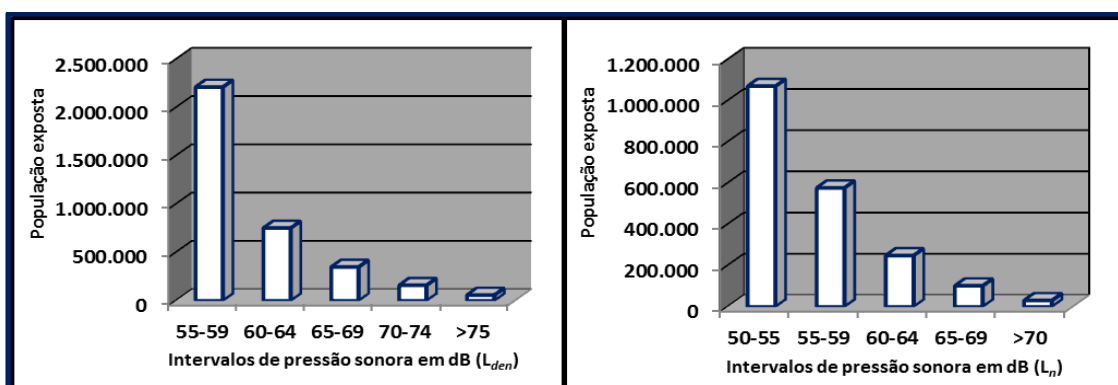


Figura 12 - Exposição ao ruído ferroviário, fora das aglomerações, em locais com mais de 30000 passagens (NOISE, 2014).

Verifica-se que existem cerca de 2,2 milhões de indivíduos expostos ao indicador  $L_{den}$  compreendido entre 55 dB (A) e 59 dB (A) e cerca de 1 milhão de indivíduos expostos a  $L_n$  compreendido entre 50 dB (A) e 55 dB (A).

A situação conjunta, assim como o número de habitações atingidas para diferentes níveis de pressão sonora, está representada na Figura 13.

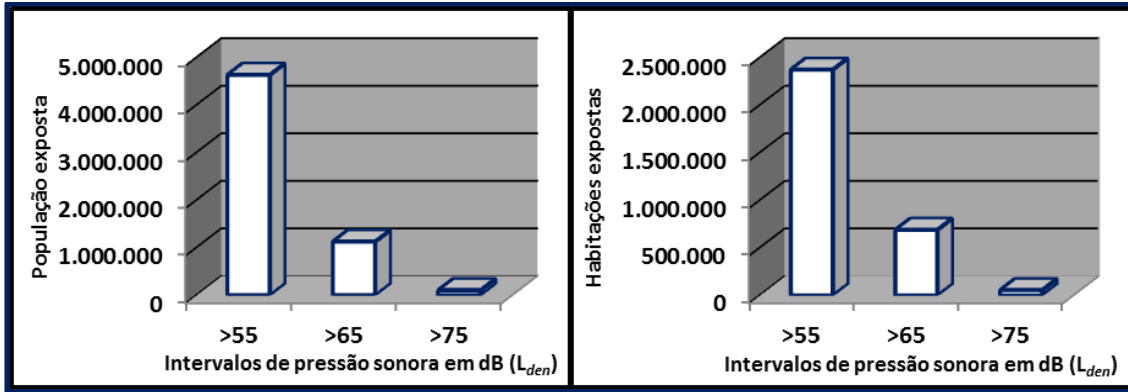


Figura 13 - Exposição ao ruído ferroviário, em situação conjunta, em locais com mais de 30000 passagens (NOISE, 2014).

Através de uma análise à Figura 13 é possível verificar que há 4634000 indivíduos expostos a  $L_{den}$  superior a 55 dB (A), atingindo cerca de 2370700 casas; 104100 indivíduos expostos a  $L_{den}$  superior a 75 dB (A) atingindo, deste modo, cerca de 53500 casas.

A Suíça, França, Reino Unido, Alemanha e Áustria surgem como os países mais afetados pelo ruído proveniente do tráfego ferroviário (NOISE, 2014).

### Situação nacional

Os dados de Portugal foram obtidos entre Dezembro de 2007 e Agosto de 2013. Nesta altura, e como os dados disponíveis são para aglomerações com mais de 250000 habitantes, só Lisboa e Porto tinham um número superior. No entanto, os dados disponibilizados dizem somente respeito a Lisboa e aos seus 564657 habitantes. Assim sendo, a Figura 14 mostra para o indicador  $L_n$ , a população exposta (NOISE, 2014).

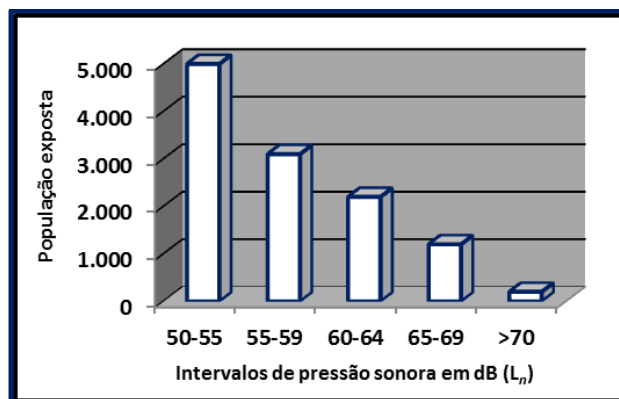


Figura 14 - Exposição ao ruído ferroviário na aglomeração de Lisboa para o fator  $L_n$  (NOISE, 2014).

Da figura anterior há a destacar os cerca de 5000 indivíduos expostos a  $L_n$  compreendido entre 50 dB (A) e 55 dB (A); 1200 indivíduos expostos a  $L_n$  compreendido entre 65 dB (A) e 69 dB (A) e os 200 indivíduos expostos a  $L_n$  acima de 70 dB (A).

**Locais com mais de 30000 passagens de comboios ano:**

Os dados seguintes dizem respeito a locais próximos a linhas ferroviárias com mais de 30000 passagens de comboios por ano, tanto fora das aglomerações (com mais de 250000 habitantes) como para a situação conjunta (dentro e fora das aglomerações).

A Figura 15 mostra, fora das aglomerações, a população exposta ao  $L_{den}$  e  $L_n$  para diferentes intervalos de pressão sonora.

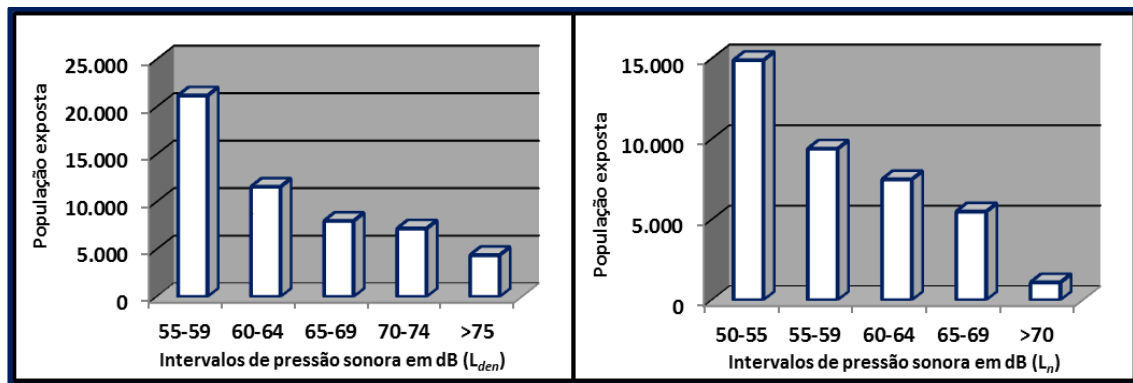


Figura 15 - Exposição ao ruído ferroviário, fora das aglomerações, em locais com mais de 30000 passagens (NOISE, 2014).

Cerca de 21200 indivíduos encontram-se expostos a  $L_{den}$  compreendido entre 55 dB (A) e 59 dB (A) e 4400 indivíduos encontram-se expostos a  $L_{den}$  superior a 75 dB (A). No que diz respeito ao fator  $L_n$ , existem 14900 indivíduos expostos a  $L_n$  compreendido entre 50 dB (A) e 55 dB (A) e 1100 indivíduos expostos a  $L_n$  superior a 70 dB (A).

A Figura 16 mostra a situação conjunta assim como o número de habitações que são atingidas para diferentes níveis de pressão sonora.

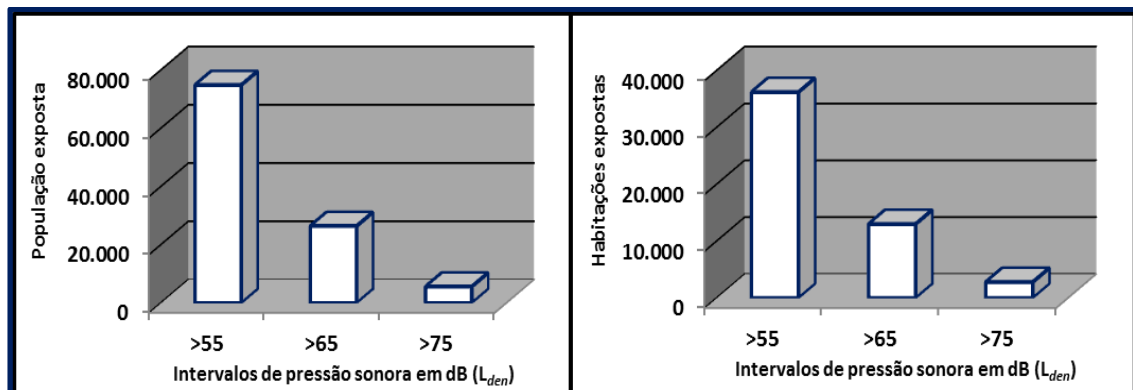


Figura 16 - Exposição ao ruído ferroviário, em situação conjunta, em locais com mais de 30000 passagens (NOISE, 2014).

Através dos dados obtidos verifica-se que há 74900 indivíduos expostos a  $L_{den}$  superior a 55 dB (A), atingindo cerca de 36200 casas. Existem também 5600 Indivíduos expostos a  $L_{den}$  superior a 75 dB (A), que atingem cerca de 2800 habitações.

A Tabela 12 mostra o total de residentes a uma distância máxima de 50 metros das diferentes GIF. Assim, existe um total de 63378 pessoas que vivem a um máximo de 50 metros de GIF, sendo a Linha do Norte e a Linha de Sintra aquelas onde existe uma maior quantidade de indivíduos a viver nos termos referidos.

**Tabela 12 - Total de residentes a distância igual ou inferior a 50 metros das GIF (REFER, 2008).**

GIF	Residentes
Linha do Minho entre Porto S. Bento e Lousado	7058
Linha do Douro entre Ermesinde e Penafiel	3441
Linha do Norte (inclui Ramal da Lousã entre Coimbra-B e Coimbra cidade)	19762
Linha de Sintra (inclui Linha do Oeste entre Bifurcação de Meleças e Mira Sintra-Meleças e inclui parte da Concordância de Sete Rios)	19090
Linha de Cintura entre Campolide e Braço de Prata (inclui parte da Concordância de Sete Rios)	2955
Linha de Cascais	7341
Linha do Sul entre Ponte de Santana e Setúbal	3731
	<b>Total: 63378</b>

### 3.4.6 Fontes de ruído ferroviário

#### 3.4.6.1 Fontes de ruído de acordo com o tipo de atividade ferroviária

O presente subcapítulo aborda as principais fontes de ruído ferroviário. Estas fontes têm fortes dependências de determinados fatores e são divididas em dois grupos, as atividades de construção e as atividades de operação. A Tabela 13 identifica as principais fontes de ruído ferroviário.

**Tabela 13 - Fontes de ruído ferroviário (CTA, 2011).**

Tipo de atividade	Tipo de fonte
<b>Atividades de construção</b>	▪ Equipamentos motorizados e veículos, assim como alarmes;
	▪ Atividades manuais tais como: soldar, martelar, quedas de objetos metálicos, entre outros;
	▪ Equipamentos de telecomunicações assim como rádios em torno da construção;
	▪ Comunicação entre os trabalhadores da construção do caminho-de-ferro;
	▪ Projetos que envolvam a separação de linhas de caminho-de-ferro;
	▪ Perfurações;
	▪ Detonações;
<b>Atividades operacionais</b>	▪ Tráfego ferroviário
	▪ Passagem de comboios em linhas estreitas;

	▪ Movimento de comboios em secções curvas da via e que provoca o guinchar das rodas;
	▪ Movimentos em marcha lenta de locomotivas em linhas ferroviárias ou ramais ferroviários;
	▪ Comboios parados (mas ligados) em locais específicos ou designados para cruzar outra pista, ou à espera de um sinal, de um inspetor, ou de uma mudança de tripulação;
	▪ Barulho das sirenes antes do iniciar do movimento da locomotiva;
	▪ Passagem de comboios sobre vias ferroviárias descontínuas, tais como interruptores, equipamentos de arraste, detetores de impacto de roda, juntas para sinalização, cruzamentos com estradas ou outras linhas ferroviárias;
	▪ Equipamentos de limpeza de neve, especificamente em linhas ferroviárias com elevado de volume de tráfego ferroviário;
	▪ Todo o tipo de sinalizadores sonoros, sejam montados no comboio ou em cruzamentos;
	▪ Operações ferroviárias que se fazem em terminais ou em locais de manutenção, tais como o ligar e desligar de comboios, montagens de carruagens, desvio de comboios para desimpedir a passagem para outras locomotivas, utilização de dispositivos de sinalização, trabalho de manutenção nas locomotivas e carruagens;
	▪ Transferência de contentores entre locomotivas de mercadorias;
	▪ Operações ferroviárias não programadas, devido ao resultado do mau funcionamento de equipamentos ou de instalações que requerem uma mudança nas operações, tais como o reencaminhamento dos comboios.

#### 3.4.6.2 Ruído associado ao tráfego ferroviário

De todas as fontes de ruído ferroviário identificadas na Tabela 13, o ruído das atividades de operação é considerado como a principal fonte no que diz respeito ao transporte ferroviário pois a construção é temporária enquanto que a operação é permanente. Como referido anteriormente, a circulação do tráfego ferroviário de mercadorias surge como o principal contribuidor para os problemas de poluição sonora, seguido dos serviços ferroviários de alta velocidade e dos serviços ferroviários urbanos (COM, 2008; OERTLI, J., HUBNER, P., 2010). No caso específico do transporte de mercadorias, a problemática do ruído é ainda agravada pelo facto deste tipo de transporte passar em locais densamente povoados, expondo elevadas quantidades de população a níveis de pressão sonora acima do permitido por lei (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

As fontes de ruído associadas à circulação do tráfego ferroviário são várias. No entanto a quantidade de ruído propagado depende de determinados fatores, tais como (REFER, 2008; NSW, 2007):

- A tipologia de construção da linha (estrutura rígida ou resiliente);
- O tipo de carril utilizado em cada troço da linha;
- Densidade do tráfego e frequência dos comboios;

- Uso de buzinas de sinalização;
- Dimensão das barreiras acústicas (no caso de existirem);
- O tipo de material circulante em cada troço da linha;
- A velocidade de circulação das composições;
- A presença de curvas em cada troço da linha;
- A presença de viadutos ou pontes, bem como de aparelhos de mudança de via;
- Condições meteorológicas (regime de ventos dominante, temperatura e humidade médias);
- Tipo de solo circulante.

Há ainda a destacar o facto de, nas curvas, apesar de ser um ruído localizado, os níveis de pressão sonora poderem ser 20 dB (A) a 30 dB (A) superiores ao ruído de rolamento. Também nas pontes se passa uma situação semelhante, ou seja, apesar de ser um ruído confinado ao próprio local, existe normalmente um acréscimo de 10 dB (A) em relação ao ruído de rolamento (THOMPSON, D., 2009).

De todo o tipo de atividades inerentes à operação ferroviária, a circulação ferroviária (tráfego ferroviário) é aquela que provoca um maior grau de incomodidade na envolvente da rede ferroviária. Assim sendo, o ruído de circulação compreende os seguintes tipos de ruído (REFER, 2008):

**Ruído de rolamento** – O ruído de rolamento é considerado o ruído predominante e provém da interação entre a roda do material circulante com o carril, causado pelas imperfeições (rugosidades) nestas duas superfícies de contacto. O ruído provocado pela interação roda-carril é dado em função da (ARUP, 2010):

- Rugosidade do carril e da roda;
- Curvatura da linha;
- Imperfeições da linha ferroviária.

O tipo de travões utilizado influencia o ruído provocado pelo rolamento pois o tipo de travões afeta a rugosidade do carril e da roda. É um tipo de ruído que é razoavelmente controlado pela manutenção das vias assim como das rodas (ARUP, 2010).

**Ruído de tração** – Ruído que provém dos motores assim como dos componentes dos sistemas de tração. Motores a Diesel (que são mais barulhentos que os elétricos) e movimentações das engrenagens são tidos como exemplos desta fonte de ruído;

**Ruído dos equipamentos auxiliares** – Ruído proveniente dos equipamentos de climatização, travagem e outros;

**Ruído aerodinâmico** – Ruído que é provocado pela passagem do comboio através do ar, gerando turbulência. Esta fonte de ruído tem grande importância com o aumento da velocidade,

sendo tão importante a nível interior como exterior. É um aspeto bastante estudado em comboios de alta velocidade;

**Ruído do pantógrafo** – Ruído resultante da interação do pantógrafo com a catenária.

#### **3.4.6.3 Ruído associado aos travões**

No que diz respeito ao ruído de rolamento, os travões assumem um papel importante. Têm havido vários avanços nos últimos anos, por forma a encontrar tipos de travões que causem baixa fricção, provocando assim menores níveis de ruído.

Os travões de cepos são travões em que, geralmente, os calços são prensados no momento da travagem, contra a roda do material circulante. Quando estes calços prensam as rodas, originam-se pequenas irregularidades na superfície de contacto da roda com o carril fazendo que origine maiores níveis de ruído quando a roda rola sobre a cabeça do carril.

Os travões de discos correspondem a discos metálicos que são colocados nos eixos onde as rodas são fixadas, sendo que existem calços que prensam os discos metálicos, mas não as rodas. Assim, nos travões de discos, não ocorrem danos na superfície da roda, fazendo com que a superfície continue mais lisa, fazendo deste modo menor ruído de rolamento. O modo de identificar qual o tipo de travão que cada material circulante tem é simples. Tanto nos comboios de passageiros como nos comboios de mercadorias existe uma letra marcada dentro de um círculo. Assim, caso exista um D dentro de um círculo (ver Figura 17) significa que se trata de material circulante com travões de disco. Caso a letra seja um K é sinal que se trata de material circulante com travões de cepos (ver Figura 18).

Como referido anteriormente, fruto da obrigação da diminuição dos níveis de ruído provocados pelos comboios, foram desenvolvidos novos tipos de travões ao longo do tempo. Atualmente, no que diz respeito aos travões de cepos orgânicos, a sua nomenclatura é dada de acordo com o seu índice de fricção e, conseqüentemente, índice de ruído. Deste modo, os travões de cepos orgânicos do tipo LL são travões com um coeficiente de atrito muito baixo; os travões de cepos orgânicos do tipo L são travões com coeficiente de atrito baixo; os travões de cepos orgânicos do tipo K são travões com um coeficiente de atrito alto e, por fim os travões de cepos orgânicos do tipo KK são travões com um coeficiente de atrito muito alto (ICER RAIL, 2013).



Figura 17 - Material circulante com travões de disco.



Figura 18 - Material circulante com travões de cegos.

#### 3.4.6.4 Relação entre níveis de ruído, velocidade e tipo de material circulante

A Figura 19 mostra a relação entre a velocidade de circulação do comboio e o nível de pressão sonora verificado, mostrando igualmente qual o tipo de ruído predominante a diferentes velocidades.

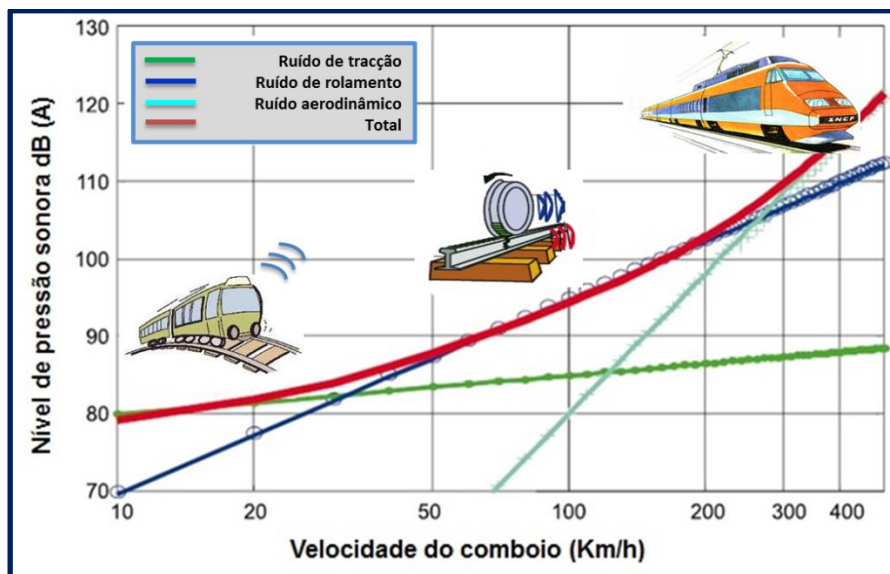


Figura 19 – Níveis sonoros provocado pelo ruído de tráfego ferroviário em função da velocidade e do tipo de ruído (adaptado de EUROPEAN COMMISSION, 2003).

A análise da figura anterior permite verificar que:

- Até 30 Km/h predomina o ruído de tração;
- Entre 30 Km/h e 250 Km/h predomina o ruído de rolamento;
- Acima de 250 Km/h predomina o ruído aerodinâmico.

No entanto, os diferentes tipos de ruído têm maior ou menor relevância, consoante o tipo de material circulante. Neste sentido, a Tabela 14 indica os tipos predominantes de ruído, assim como a sua relevância, para diferentes géneros de comboios.

Tabela 14- Relevância dos tipos de ruído para diferentes géneros de comboios (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

Ruído Comboio	Ruído de rolamento	Ruído de tração e dos equipamentos auxiliares	Ruído aerodinâmico
Mercadorias	++	+	
Alta velocidade	++	+	++
Intercidades	++	+	
Urbanos	++	+	

+: relevante; ++: Muito relevante

### 3.4.7 Medidas de mitigação

O presente subcapítulo aborda as várias medidas de mitigação que podem ser implementadas por forma a atenuar o ruído emitido pelo tráfego ferroviário.

O transporte ferroviário tem uma longa história no que diz respeito ao controlo de ruído. Existem várias medidas a tomar por forma a reduzir o ruído ferroviário, tais como a colocação de barreiras acústicas e janelas com isolamentos. No entanto, os comboios silenciosos são o tipo de medida com maior potencial. No que diz respeito ao transporte de mercadorias, a tomada de medidas como a substituição de travões de cepo de compósito por travões de cepos orgânicos do tipo K e do tipo LL é também importante por forma a diminuir os níveis de pressão sonora. Por fim, em casos específicos, a colocação de amortecedores nas rodas e nos carris também são medidas recomendáveis a tomar. A manutenção das vias e do material circulante também é importante, sendo que as vias ficam à responsabilidade das entidades que gerem a infraestrutura e os comboios ficam à responsabilidade dos operadores (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

As medidas de mitigação podem ser aplicadas em três locais distintos, ou seja, na fonte, entre a fonte e o recetor (ao longo do caminho de propagação do ruído) e no recetor. Assim sendo (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010; EPA, 2013):

**Medidas na fonte** – O Ruído de rolamento é causado por pequenas irregularidades entre as rodas e os carris, na área de contacto entre ambos. A redução do ruído na fonte pode ser conseguida quer reduzindo a sua aspereza ou impedindo o seu aumento. Isto pode ser conseguido pelo melhoramento da superfície de contacto entre a roda e o carril (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010). As medidas na fonte são as mais recomendadas devido a (EPA, 2013):

- Serem economicamente mais vantajosas;
- Serem mais eficientes oferecendo maiores níveis de proteção;
- Maior proteção a um maior número de recetores;
- Reduzirem a necessidade de tomar medidas de mitigação entre a fonte e o recetor e

junto ao recetor.

Quanto ao ruído de tração, nos veículos a Diesel, tanto nos comboios novos como nos usados, devem ser aplicadas medidas que visem uma diminuição dos níveis de ruído, que podem passar essencialmente por (EUROPEAN COMMISSION, 2003):

- Isolamento do compartimento do motor;
- Seleção de componentes mais silenciosos, tais como compressores, turbocompressores e ventiladores;

No caso do material circulante de alta velocidade, o ruído aerodinâmico predomina a velocidades acima de 250 Km/h, com contribuições a várias alturas. Assim, barreiras acústicas inferiores a 4 metros de altura têm um efeito insuficiente nas fontes localizadas nas partes superiores dos comboios, como por exemplo os pantógrafos. Algumas medidas que podem reduzir o ruído aerodinâmico são (EUROPEAN COMMISSION, 2003):

- Simplificação das coberturas dos bogies;
- Evitar cavidades ao longo do material circulante;
- Simplificação e cobertura da zona envolvente do pantógrafo;

Todavia, é necessário ter em atenção o contexto em que se inserem este tipo de medidas. Por exemplo, nem sempre alterar um caminho de uma linha, ou alterar por completo o material circulante, pode ser viável (EPA, 2013). Apesar disso, é de considerar a tomada de medidas na fonte que visem um baixo nível de pressão sonora em linhas ferroviárias que irão ser construídas no futuro ou nas que é possível e economicamente viável de renovar. Assim quanto mais longe for a distância de uma linha ferroviária a um local sensível, menor serão os níveis de pressão sonora verificados no local. Se for duplicada a distância de uma linha ferroviária a um local sensível, faz com que haja, uma diminuição de aproximadamente 3 dB (A) de  $L_{Aeq}$  e de cerca de 6 dB (A) de  $L_{max}$  (EPA, 2013), não considerando o efeito do solo, nem da atmosfera na propagação do ruído.

A manutenção da linha/carril e do material circulante é também importante, sendo que devem ser regulares e contínuas. No caso do material circulante, as monitorizações devem ter em vista a descoberta de possíveis problemas para que sejam rapidamente corrigidos, através de medidas de manutenção como a moagem das rodas (EPA, 2013).

Quando se fala de aplicação de medidas de minimização na fonte, surgem alguns obstáculos que dificultam a sua implementação, tais como (DISTEFANO, A., [Et al], 2007):

- Veículos ferroviários têm um tempo de vida longo, o que dificulta a adaptação, pois leva muito tempo para introduzir novas tecnologias;
- Diferenças entre os países no que diz respeito à legislação, metodologias aplicadas, magnitude de exposição ao ruído;
- Vários veículos ferroviários que circulam internacionalmente;
- Incertezas técnicas e económicas sobre tecnologias propostas.

**Medidas entre a fonte e o recetor** – Neste caso, o método da colocação de barreiras acústicas é o mais usado. Estas podem ser de uma enorme variedade de formas, desde muros, cercas, montes de terra, e são mais eficazes quanto mais perto estiverem da linha ferroviária. Por forma a proporcionar a redução de ruído de uma fonte, uma barreira, deve, pelo menos, quebrar a linha

de visão entre a fonte e o recetor (EPA, 2013). As barreiras acústicas podem ser relativamente caras de instalar, sendo que são gastos no continente europeu, anualmente, cerca de 150 a 200 milhões de euros na sua colocação (COM, 2008). Contudo, se as medidas de mitigação se concentrassem na fonte, ter-se-ia uma situação muito mais eficaz em termos de custos (UIC, 2008). A sua colocação deve proporcionar um mínimo de 5 dB (A) de atenuação, caso contrário os recetores não notarão uma mudança significativa dos níveis de ruído. O material da barreira também deve ser considerado na medida em que, por exemplo, em locais onde irão ser instaladas barreiras em ambos os lados de um corredor ferroviário, devem ser usados materiais absorventes de modo a que os níveis de ruído não aumentem devido às reflexões da barreira (EPA, 2013). Dois dos poucos pontos negativos que têm a ver com as barreiras acústicas são o apelo visual negativo associado, difícil de aceitar por parte da comunidade e o facto de nem sempre a colocação destas ser fácil, devido a altitude e geografia do terreno. Quando assim é, há que considerar a adoção de medidas no recetor (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

**Medidas no recetor** – As medidas de minimização nos recetores são geralmente as opções menos desejáveis. No entanto, quando todas as medidas anteriores descritas foram ponderadas (ao nível da fonte e do meio de propagação), as medidas nos recetores devem ser seriamente consideradas, dado que os níveis de ruído podem ser reduzidos no local onde mora a população, ou seja, nas habitações. Este feito pode ser alcançado com a instalação de uma cerca/muro nas propriedades ou atualizando a fachada de um edifício, sendo que a primeira opção é a preferível, uma vez que oferece proteção para ambas as áreas, interiores e exteriores. Apesar disso em alguns casos, tais como edifícios de vários andares, o único tratamento acústico viável é ao nível da fachada. A redução de ruído fornecida por uma barreira (cerca ou muro) será maior se forem colocadas o mais próximas possível da fonte ou do recetor. No que diz respeito à fachada dos edifícios, a opção pode recair numa atualização das janelas com vidros mais grossos ou duplos, instalação de vedações/portadas em janelas e portas, colocação de portas mais sólidas (EPA, 2013).

O grande potencial na redução dos níveis de ruído ferroviário está na colocação em circulação de comboios silenciosos, o que levanta logo um grande problema, que seria uma mudança total do material circulante atual. Outro método que pode ser aplicado é a troca de travões de cepo de ferro fundido por vagões com travões de cepos compósitos (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010). Assim existem os travões de cepos orgânicos K (que já são utilizados em vagões mas que ainda é necessária a sua adaptação a vagões antigos) e os cepos LL que são expressamente para vagões (COM, 2008). Finalmente, em casos específicos podem ser aplicadas medidas como absorvedores na linha e nas rodas. Absorvedores (ou amortecedores) são elementos ajustáveis que estão ligados nas partes laterais dos carris, e que melhoram a capacidade de decompor o ruído proveniente das vibrações resultantes do contacto entre as rodas do material circulante e o carril (PARKER, A., WEBER, C., 2010). Na Figura 20 e Figura 21 é possível ver um exemplo de aplicações de absorvedores nos carris e nas rodas respetivamente.



Figura 20 - Absorvedores nos carris (SILENCE, 2008).

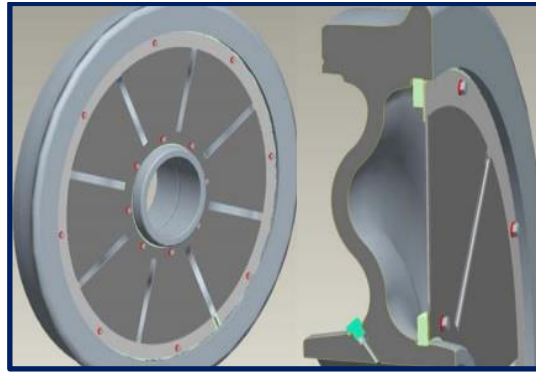


Figura 21 - Absorvedores nas rodas (SILENCE, 2008).

A Tabela 15 faz um breve resumo de vários tipos de medidas que podem ser aplicadas assim como o potencial de redução de ruído e o seu estado/dependências (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

Tabela 15 - Medidas de mitigação (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010).

Método de redução de ruído	Potencial de redução de ruído	Local de redução de ruído	Estado/Dependências
Adaptação aos cepos K	8 - 10 dB	Rede	Requerem adaptação e só funcionam caso as imperfeições das rodas e dos carris forem corrigidas (no caso de material circulante e linhas já existentes);
Adaptação aos cepos LL	8 - 10 dB	Rede	Requerem adaptação e só funcionam caso as imperfeições das rodas e dos carris forem corrigidas (no caso de material circulante e linhas já existentes);
Absorvedores na roda	1 - 3 dB	Rede	O efeito depende bastante das condições locais; podem existir dificuldades de manutenção das rodas;
Absorvedores na via	1 - 3 dB	Local	Podem existir dificuldades na manutenção da via; dependência das condições locais;
Moagem acústica na via	1 - 3 dB	Local	O efeito depende das condições de rugosidade do local; rodas macias são uma condição para esta aplicação;
Operacional	Variável	Local	Método dificulta o tráfego ferroviário;
Barreiras acústicas	5 - 15 dB	Local	Efeito depende da altitude e geografia do local; efeito negativo em paisagens e influência nos procedimentos de manutenção das vias;
Isolamento da fachada	10 - 30 dB	Local	Efeitos só são alcançados no interior de habitações e quando as janelas e/ou portas estão fechadas.

De um modo conciso, o trabalho de pesquisa efetuado ao longo de anos neste sector permite tirar algumas conclusões (OERTLI, J., HUBNER, P., 2010):

- Rodas suaves em carris lisos resultam em menos ruído, ou seja, uma parcela significativa de ruído pode ser eliminada, se as rodas e os carris forem lisos;
- As rodas lisas podem ser mantidas nesse estado com cepos K e cepos LL que reduzem em cerca de 8-10 dB os níveis de pressão sonora. No entanto, caso as linhas estiverem danificadas pelos cepos de ferro fundido, estas terão de ser arrançadas ou substituídas;
- Carris lisos podem ser conseguidos com uma manutenção adequada e com um aperfeiçoamento das vias;
- Barreiras acústicas são o método mais reconhecido e usado. No entanto, se houver reduções ao nível da fonte, os gastos com as barreiras acústicas podem ser reduzidos;
- Outras técnicas podem ser usadas para a redução de ruído (somente se consideram reduções de ruído se as medidas implementadas garantirem uma redução superior a 2 dB), tais como absorvedores na linha e absorvedores nas rodas.

### **Medidas na fase de construção de uma via-ferroviária**

Para uma boa gestão do ruído ferroviário, é necessário que antes da aplicação de medidas de minimização, se tomem medidas de planeamento apropriadas, de maneira a que o problema seja logo eliminado na sua origem (EPA, 2013). Neste sentido, deve-se considerar a localização de novos projetos de edifícios o mais longe possível de uma linha ferroviária. A estrutura dos apartamentos também deve ser considerada, na medida em que a localização dos quartos ou de salas sensíveis (como em hospitais ou lares) devem ser longe dos corredores ferroviários, ao passo que as garagens, casas de banho e cozinhas, poderão ficar localizados de frente para a linha ferroviária (EPA, 2013).

Existem ainda outras considerações a ter quando se constrói ou renova uma via, tais como (EPA, 2013):

- Evitar ramais e áreas de transição de velocidade, junto a recetores sensíveis;
- Evitar a construção de curvas apertadas, ou seja, o raio da curva deve ser maximizado;
- O uso de carris continuamente soldados;
- Reduzir ao máximo a inclinação da via, por forma a reduzir o ruído do motor do comboio;
- Evitar passagens de nível junto a recetores sensíveis;
- Localização de comboios em marcha lenta longe de locais sensíveis.

### **A problemática dos vagões de mercadorias**

Atualmente, na Europa, cerca de metade do transporte ferroviário de mercadorias é internacional, sendo que é necessário que as medidas a implementar nestes comboios sejam de cariz internacional de modo a abranger todo o tipo de países (COM, 2008). Na última década a UE estabeleceu limites de emissão de ruído para material circulante novo e renovado, tanto no caso dos de alta velocidade como dos convencionais. No que diz respeito à frota de vagões, foi proposto pela Comissão, em 2008, que 370000 mil vagões deveriam ser adaptados até do final de 2014 com travões que emitissem níveis de ruído mais baixos (COM, 2008). Com a implementação destas medidas o principal benefício seria a redução da emissão sonora dos

comboios de mercadorias até 50% e, por conseguinte, um decréscimo de cerca de 16 milhões no número de pessoas afetadas pelo ruído ferroviário. Seriam medidas que implicariam custos de investimento na ordem de 200 milhões a 700 milhões de euros nos cepos LL e de 1000 milhões a 1800 milhões de euros nos cepos K, com custos adicionais de manutenção de 200 a 400 milhões de euros. No entanto esta adaptação iria implicar benefícios líquidos bastante elevados, na ordem dos 3 para 10 em relação aos custos (COM, 2008).

### 3.5 Modelação ferroviária

O presente subcapítulo aborda a situação da modelação para a previsão de ruído de tráfego ferroviário. São enunciados vários métodos de previsão de ruído de tráfego ferroviário, com especial ênfase no método dos Países Baixos, RMR 96/SRM II.

No ruído ferroviário, é importante que haja uma estimativa dos níveis de pressão sonora emitidos pelo diverso material circulante, em todas as áreas que não são vigiadas, por forma a detetar as fontes emissoras, assim como a eficácia de medidas de mitigação. Assim sendo, a modelação ferroviária assume um papel essencial que serve ainda como instrumento de planeamento.

O Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva Europeia 2002/49/CE de 25 de Junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente recomenda o método “*Standaard-Rekenmethode II*” (designado abreviadamente por RMR96/SMRII) dos Países Baixos, publicado na “*Reken – Meetvoorschrift Railverkeerslawaal’96*, Ministerie Volkshulsvesting, Ruimtellijke Ordening en Milleubeheer, 20 de Novembro de 1996”.

O diploma referido estabelece também, no seu Anexo II, que “em alternativa, desde que seja demonstrada a obtenção de resultados equivalentes, pode ser utilizado outro método adaptado e validado ao material ferroviário e às condições de circulação em território nacional”.

Assim, é de referir que existem vários métodos disponíveis de previsão de ruído proveniente do tráfego ferroviário. Os vários modelos disponíveis, para os diferentes países são (LEEUWEN, H.J.A., 2000):

- Áustria – Önorm S5011/ÖAL28;
- Dinamarca – Beregning af støj fra jernbaner;
- França – NMPB-FER;
- Alemanha – Schall 03;
- Holanda – RMR 96/SRM II;
- Noruega – NMT Norwegian trains;
- Suécia – NMT Swedish trains;
- Suíça – Semibel;
- Reino Unido – Asdown;
- Reino Unido – Department of Transport;

No que diz respeito à propagação, também é de considerar a norma ISO 9613-2 “Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation”.

Cada um dos modelos referidos foi desenvolvido essencialmente tendo como base as medições efetuadas para cada tipo de material circulante presente em cada país. Existem portanto diferenças entre os parâmetros de cálculo de cada modelo. É assim importante que, aquando da escolha de um modelo, que este seja inicialmente validado, antes do seu uso numa determinada situação (NSW, 2012).

Os quatro modelos atuais que reúnem um maior consenso em relação à sua qualidade são a Schall 03, RMR 96/SRM II, o modelo nórdico e a NMPB-FER (SZWARC, M., [Et al.], 2011). Seguidamente são apresentadas as principais características associadas a cada um destes modelos.

### 3.5.1 Schall 03

O modelo de previsão alemão Schall 03 é bastante fácil e claro de usar. Este baseia-se num valor de ruído fixo de 51 dB (A) para todos os eventos de ruído. Posteriormente são efetuadas correções acústicas relacionadas com os comboios. Algumas destas correções estão relacionadas com o tipo de comboio, velocidade do comboio, tipo de travões do comboio, propriedades da estrutura. Por fim, fazem-se correções no mecanismo de propagação do som e de parâmetros como o nível de pressão sonora e o ângulo entre a direção do comboio e a propagação do som. Adicionalmente, caso necessário, fazem-se correções para pontes, passagens de nível e curvas. O maior problema relacionado com este modelo é o facto de não serem consideradas nem a dependência da frequência sobre o ruído ferroviário nem as condições meteorológicas. Apesar da direção da fonte estar considerada no modelo, os mecanismos físicos que envolvem a propagação do som não são considerados. Em síntese, é um modelo que tem como grande vantagem uma construção fácil e clara de implementar, dado que só tem em conta alguns parâmetros importantes. No entanto é um método bastante linear e limitado para se tornar um modelo europeu de previsão. A sua versão atualizada saiu em 2006, no entanto não resolveu todos os seus problemas (SZWARC, M., [Et al.], 2011).

### 3.5.2 NMPB-FER

O modelo francês tem a componente de propagação do ruído altamente desenvolvida. Este assume dois casos, o caso favorável de propagação e o caso de condições atmosféricas homogéneas para propagação de ruído. O cálculo dos níveis de ruído é feito combinando ambos e usando a sua percentagem de frequência de ocorrência. O resultado obtido corresponde ao nível sonoro contínuo equivalente ponderado A. São consideradas duas alturas diferentes para as fontes, ou seja, para as frequências mais baixas (125 Hz, 250 Hz e 500 Hz) é considerada a altura de 80 cm; para 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz é considerada a altura de 5 cm acima do plano de rolamento. Os comboios estão divididos em 4 categorias principais, com diferentes subcategorias que são baseadas em alguns parâmetros tais como a velocidade do material circulante. Por fim,

no que diz respeito ao traçado, não são tidos paramentos em consideração (SZWARC, M., [Et al.], 2011).

### 3.5.3 Nórdico

O modelo nórdico foi elaborado como resultado da cooperação de países nórdicos. O método NMT 96 é usado para medir o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A em bandas de oitava. O modelo de propagação é similar ao da norma holandesa RMR 96/SRM II. São tidas em consideração as condições atmosféricas, todavia os resultados só podem ser utilizados para temperaturas positivas. No que diz respeito às condições de propagação, o NMT 96 tem em consideração a propagação do som contra o vento. Na versão NMT 2000 (uma versão alargada do NMT 96) são tidos em conta outros parâmetros meteorológicos tais como a velocidade do vento, direção do vento e gradiente de temperatura. O método de cálculo fornece valores para bandas de 1/3 de oitava dos 25 Hz aos 10 kHz. As fontes de ruído ferroviário estão divididas em seis partes e o sistema requer alguns parâmetros de entrada tais como a categoria do comboio e a sua condição de operação (REITER, M., KOSTEK, B., 2008).

### 3.5.4 SRM II

O modelo de previsão de ruído ferroviário dos Países Baixos descreve com precisão a relação entre o nível de pressão sonora e o ruído emitido pela fonte. É um modelo que atua em bandas de oitava, sendo esta a principal diferença com o modelo alemão Schall 03. A modelação é feita em bandas que vão dos 63 Hz aos 8 kHz. Outro aspeto importante relacionado com este modelo, é que é considerada a altura das fontes existentes, o que permite prever o efeito de barreiras acústicas. Tal como no modelo alemão Schall 03, os parâmetros mais importantes são o número de comboios diários para o período diurno e noturno; a categoria em que o comboio se insere e o tipo de estrutura, onde é incluído o tipo de dormente, o número de segmentos do carril, articulações, cruzamentos e também a razão entre o tempo de travagem e o tempo inteiro da viagem do comboio. A velocidade de passagem de um determinado material circulante assim como a sua percentagem de travões de disco é também importante. A fácil classificação dos comboios em função do seu tipo e do sistema de travagem utilizado é uma vantagem importante da RMR 96/SRM II, que faz com que este método, que apesar de ser feito para o panorama dos Países Baixos, seja possível de personalizar para qualquer país europeu (SZWARC, M., [Et al.], 2011). A RMR 96/SRM II inclui nove categorias distintas de veículos ferroviários, nas quais, vários tipos de material circulante usado nos Países Baixos e em alguns países da Europa central se encontram classificados. Estas nove categorias são diferenciadas entre si, principalmente no que diz respeito aos sistemas de propulsão e pela tipologia dos sistemas de travagem. As nove categorias são:

- **Categoria 1:** comboios de passageiros com travões de cepos;
- **Categoria 2:** comboios de passageiros com travões de discos e travões de cepos;
- **Categoria 3:** comboios de passageiros com travões de discos;

- **Categoria 4:** comboios de mercadorias com travões de cepos;
- **Categoria 5:** comboios Diesel com travões de cepos;
- **Categoria 6:** comboios Diesel com travões de discos;
- **Categoria 7:** metros e elétricos rápidos com travões de discos;
- **Categoria 8:** comboios interurbanos e comboios de baixa-velocidade com travões de discos;
- **Categoria 9:** comboios de alta velocidade com travões de discos e travões de cepos;
- Adicionalmente existe uma categoria 10, que se encontra provisoriamente reservada aos comboios de alta velocidade do tipo ICE-3 (M) (TGV Este).

A Figura 22 mostra alguns exemplos de tipos de composições incluídas nas nove categorias dos veículos ferroviários da RMR 96/SMR II.

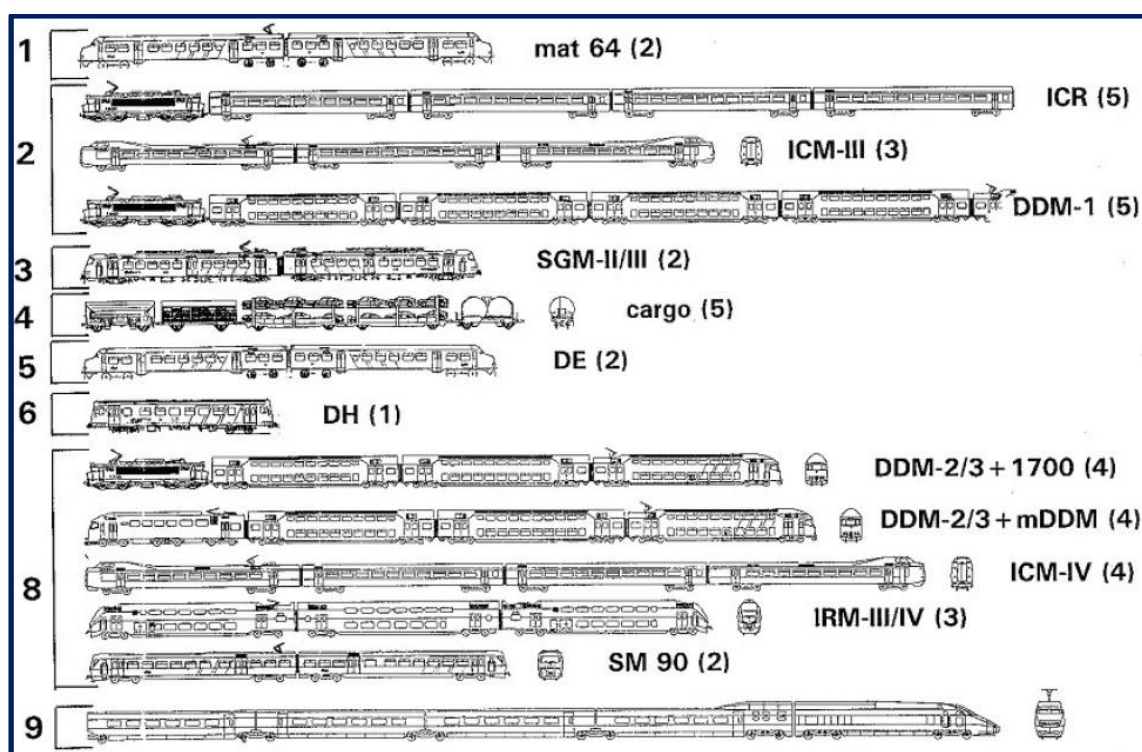


Figura 22 - Categorias de comboios existentes na norma holandesa SRM II (WÖLFEL MEßSYSTEME SOFTWARE GMBH & CO, 2001)

A norma inclui também os seguintes tipos de traçados:

- Linhas ferroviárias com dormentes de betão monobloco ou bi-bloco, sobre balastro;
- Linhas ferroviárias com dormentes de betão em ziguezague ou dormentes de madeira, sobre balastro;
- Linhas ferroviárias com vias não soldadas ou com mudanças de via, sobre balastro;
- Linhas ferroviárias com blocos;
- Linhas ferroviárias com blocos, sobre balastro;
- Linhas ferroviárias com carris ajustáveis;
- Linhas ferroviárias com carris ajustáveis, sobre balastro;

- Linhas ferroviárias com derrames nos carris;
- Linhas ferroviárias com passagens de nível.

O modelo de cálculo usado na RMR 96/SRM II é baseado no  $L_{Aeq}$ , que se traduz pela seguinte fórmula:

$$L_{Aeq} = E_s + C_{refl} - D_{dist} - D_{ar} - D_{solo} - C_{met}$$

**Em que:**

$C_{refl}$  = Correção para possíveis reflexões em edifícios ou outras superfícies verticais;

$D_{dist}$  = Atenuação com a distância;

$D_{ar}$  = Atenuação resultante da absorção sonora no ar;

$D_{solo}$  = Atenuação resultante do efeito do solo;

$C_{met}$  = Correção para condições meteorológicas;

$E_s$  = Valor de emissão composto, calculado a partir da expressão:

$$E_s = 10 * \log \frac{1}{127} \sum_{i=1}^n \phi_i 10^{\frac{E_i}{10}}$$

**Em que:**

$\phi_i$  = ângulo sob o qual uma dada secção da linha é vista do ponto de vista do recetor;

$n$  = número total de secções consideradas;

$E_i$  = Valor de emissão, dependendo do tráfego e da infraestrutura ferroviária.

Ainda no que diz respeito ao  $E_i$ , o valor de emissão depende do número de composições de cada uma das categorias de comboios, que passam por unidade de tempo, numa dada secção da linha com uma determinada velocidade, e do tipo de circulação, nomeadamente se as composições se encontram a travar ou não. Depende ainda do tipo de infraestrutura da linha, mais especificamente do tipo de colocação e fixação da linha, assim como da rugosidade do carril utilizado.

### 3.6 Vibrações

Diariamente, os seres humanos estão, de um modo frequente, expostos a vibrações, que causam maior ou menor perturbação no bem-estar, causando incómodos. As vibrações podem ser indesejáveis e perigosas, estando presentes nos locais de trabalho, transportes e até nas próprias habitações.

Quando não são controladas de um modo eficaz, são um fenómeno difícil de evitar. A produção de vibrações está normalmente associada a desequilíbrios ou a folgas das diferentes partes constituintes de cada máquina (MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

Os efeitos da vibração transmitida por terra inclui o movimento dos pisos de edifício, o abanar das janelas, o agitar de objetos em prateleiras, entre outros. Em casos mais extremos tais vibrações podem danificar edifícios e outras estruturas.

As vibrações estão associadas ao movimento de quaisquer tipos de máquinas. Assim, os níveis de vibração resultantes estão dependentes do tipo de fonte. A Figura 24 mostra, para os diferentes tipos de fontes de vibrações, a sua velocidade assim como a sua influência nos seres humanos.

O conceito básico de vibrações transmitidas através do transporte ferroviário está ilustrado na Figura 23. As rodas do material circulante nos carris, cria energia de vibração que é transmitida através das camadas de solo. A quantidade de energia que é transmitida para a estrutura depende fortemente de fatores como a suavidade das rodas/carris e velocidade do material circulante (MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

A vibração da linha ou do carril excita o terreno adjacente, criando assim ondas de vibração que se propagam através do solo e de várias camadas de pedra para as fundações de edifícios próximos. As vibrações transmitidas por terra raramente são incomodativas para indivíduos que estejam ao ar livre, pois embora o movimento do solo possa ser perceptível, este movimento não provoca a mesma reação adversa nos humanos como provoca quando se está dentro de um edifício e se sinta a agitação do mesmo. Para além disso, o barulho do estrondo que normalmente acompanha a vibração do edifício, somente pode ocorrer no interior dos mesmos (MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

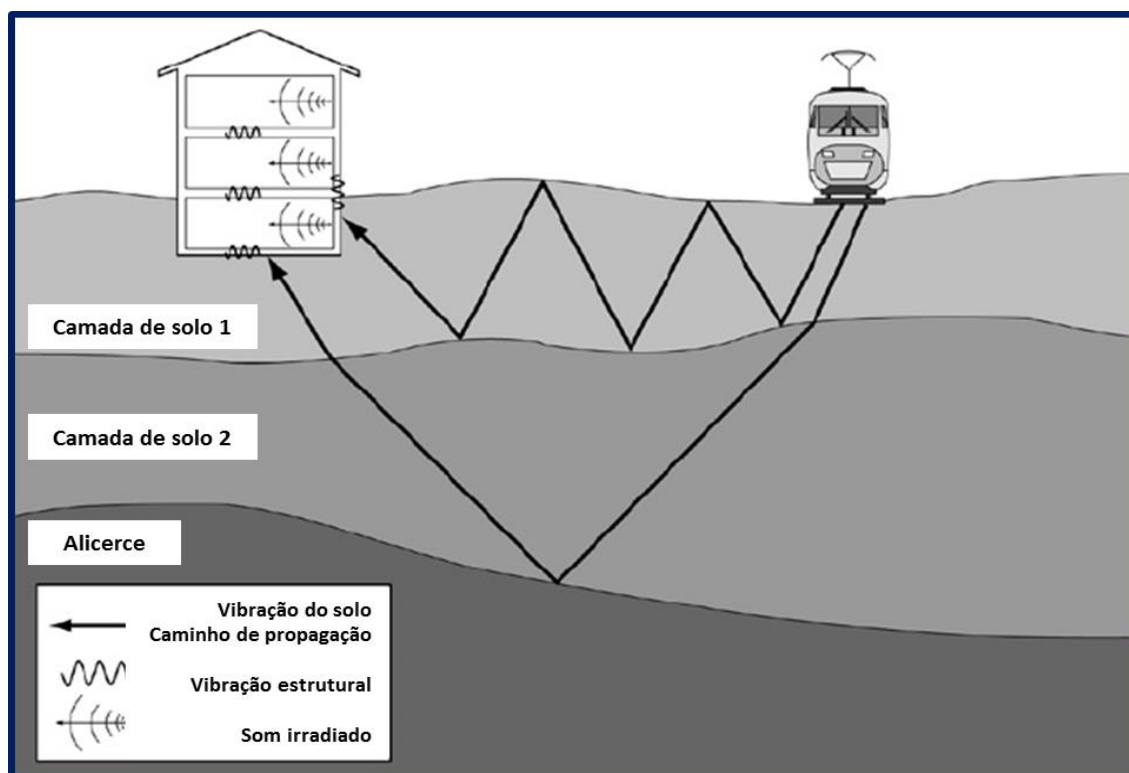


Figura 23 - Propagação das vibrações no solo (adaptado de MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

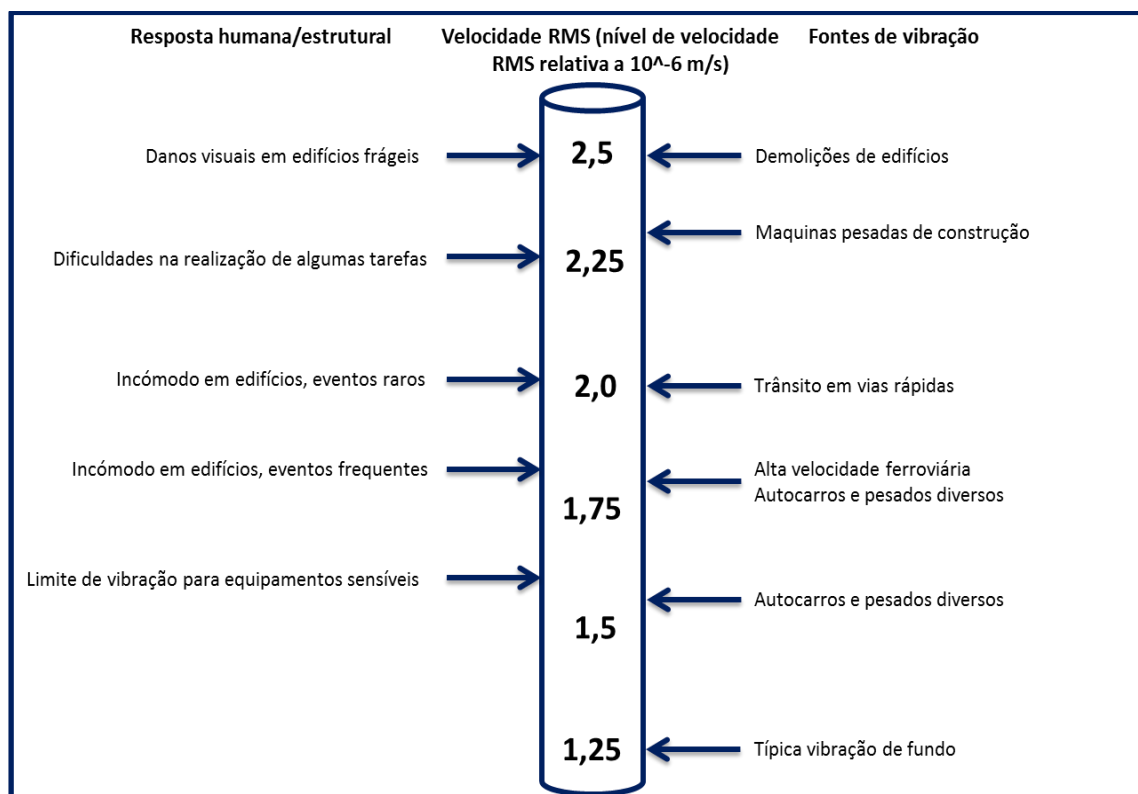


Figura 24 - Fontes de vibração e seus efeitos no meio ambiente (adaptado de MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

### 3.6.1 Fatores relacionados com a fonte de vibrações

Existem vários fatores relacionados com as vibrações provenientes do transporte ferroviário. Assim, estes podem distinguir-se em fatores associados à fonte de vibrações, ao caminho de propagação e ao recetor. Na Tabela 16 é possível identificar os diferentes fatores, assim como a sua influência.

Tabela 16 - Fatores que influenciam a propagação de vibrações, de acordo com a fonte (MILLER, H.M., HANSON, I., 2005).

Fatores	Influência
<b>Fonte</b>	
<b>Suspensão do veículo</b>	Se a suspensão for rígida na direção vertical, a vibração efetiva será maior. Nas composições ferroviárias apenas as cargas não suspensas relacionadas com a suspensão primária afeta o nível de vibrações. A suspensão secundária suporta a caixa do comboio produzindo efeitos insignificantes.
<b>Rodados</b>	A rugosidade e os defeitos constituem uma das maiores causas da vibração no contacto entre a roda e o carril.
<b>Superfície do carril</b>	A irregularidade do carril é uma das causas das vibrações. Operações de manutenção, tais como a esmerilagem são assim importantes de modo a regularizar a superfície.
<b>Suporte da grelha da via</b>	As vibrações podem ser controladas através da colocação de palmilhas de amortecimento no apoio dos carris nas dormentes, de espessuras corretas das camadas de balastro e sub-balastro ou por colocação de mantas de amortecimento.

<b>Velocidade</b>	Quanto maior é a velocidade do material circulante, maiores serão os níveis de vibração.
<b>Estrutura</b>	De um modo geral, quanto mais pesada for a estrutura da linha ferroviária, menores serão as vibrações resultantes da passagem de um comboio.
<b>Profundidade da fonte</b>	Existem diferenças entre os níveis de vibrações de comboios à superfície ou no subsolo.
<b>Caminho de propagação</b>	
<b>Tipo de solo</b>	De um modo geral, as vibrações são superiores em solos do tipo argiloso em comparação com solos arenosos. Se os solos forem pouco compactos podem originar fenómenos de amplificação das vibrações.
<b>Tipo de rocha</b>	Quanto mais perto da superfície o substrato rochoso estiver, maior tende a ser a magnitude das vibrações. Esta situação influencia a rigidez da infraestrutura, e a propagação das vibrações em rocha resulta num amortecimento mais lento das ondas, comparando com os solos.
<b>Estratificação</b>	Os estratos podem ter comportamentos dinâmicos muito diferentes entre si e por essa razão o comportamento é difícil de prever.
<b>Nível freático</b>	A sua presença pode implicar a interferência com a magnitude das vibrações, no entanto não é clara a interferência direta.
<b>Gelo</b>	Para um solo gelado a propagação das vibrações é menos eficiente.
<b>Recetor</b>	
<b>Tipo de fundação</b>	Regra geral, quanto mais pesado for o alicerce da construção, maior será a perda de acoplamento à medida que as vibrações se propagam da superfície para dentro do edifício.
<b>Construção do edifício</b>	Devido ao facto da vibração transmitida por terra ser avaliada em termos de recetores de interiores, a propagação da vibração através da construção deve ser considerada. Cada edifício tem diferentes características, no entanto de um modo geral, quanto mais massivo for um edifício menores serão os níveis de vibração transmitidos por terra.
<b>Absorção acústica</b>	A quantidade de absorção no recetor afeta os níveis de ruído transmitidos por terra.



## 4 Caso de Estudo

No presente capítulo são abordadas diversas questões relacionadas com o presente caso de estudo. Assim, é identificada a metodologia de trabalho aplicada, o material utilizado ao longo das várias medições, os diversos locais de medição e os tipos de material circulante que foram alvo de análise. São também apresentados os resultados de cada um dos estudos e é feita uma discussão dos mesmos.

### 4.1 Metodologia utilizada

Para cada um dos diferentes estudos, foram adotados métodos que permitissem uma recolha de dados rigorosa.

Para a recolha de dados de ruído proveniente do transporte ferroviário foi seguida a norma ISO 3095:2013. O sonómetro foi colocado a  $\pm 1,2$  metros de altura do solo e, sempre que possível, a 7,5 metros do eixo da linha ferroviária, com o microfone virado na sua direção. As medições foram realizadas em *logging*, de 1 em 1 segundo, 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. Por fim foram recolhidos dados referentes quanto à meteorologia, ambiente envolvente, tipo de solo, e tipo de estrutura ferroviária, nomeadamente no que diz respeito ao balastro, dormentes e tipo de carril.

Após a coleta de dados de passagem dos diferentes tipos de material circulante, estes foram tratados numa folha de cálculo. Assim, e para cada passagem de um dado material circulante, obteve-se o valor, em dB (A), do  $L_{Aeq}$  de passagem e do  $L_{Aeq}$  de uma hora, em bandas de oitava. Seguidamente, através do software IMMI 2009, foram realizados vários testes por forma a obter uma equivalência com as categorias de material circulante expressas no método RMR 96/SMR II, tendo em conta o fator  $L_{Aeq}$  1 hora medido para os diversos tipos de comboios. As medições com vista ao presente objetivo foram efetuadas em cinco locais diferentes.

No que diz respeito à investigação realizada para avaliar a qualidade dos dados recolhidos com um sonómetro de classe 2, este foi colocado nas mesmas condições do sonómetro de classe 1. Inicialmente, antes e após cada um dos dias de medição, ambos os sonómetros foram devidamente calibrados. Seguidamente, os sonómetros foram colocados a  $\pm 1,2$  metros de altura do solo e com as distâncias, em relação ao eixo da linha ferroviária, descritas na Tabela 20. Na Figura 25 e na Figura 26 é possível verificar as condições em que ambos os sonómetros se encontravam em relação a uma linha ferroviária. Deste modo pretendeu-se assegurar uma recolha de dados rigorosa. As medições com o sonómetro de classe 2 foram efetuadas em quatro locais de medição.



**Figura 25 - Medições com ambos os sonómetros no local 1.**



**Figura 26 - Medições com ambos os sonómetros no local 2.**

Os dados recolhidos foram seguidamente tratados numa folha de cálculo, por forma a obter o valor, em dB (A), do  $L_{Aeq}$  de passagem e do  $L_{Aeq}$  de 1 hora, para as várias medições efetuadas. Assim, foi possível comparar a qualidade dos dados recolhidos do sonómetro de classe 2 com a do sonómetro de classe 1.

Quanto à medição das vibrações provenientes da passagem de tráfego ferroviário, estas foram realizadas recorrendo a um sismógrafo. Foi seguida a norma ISO 14837-1:2005 (E), sendo que o Geofone foi colocado a 8 metros do eixo da linha ferroviária (no caso de locais com duas linhas ferroviárias, a distância do geofone até à segunda linha era superior). O disparo de início de medição foi colocado a 0,13 mm/s com as medições a durarem 10 segundos. A medição de vibrações foi realizada em três locais.

## 4.2 Equipamento utilizado

### 4.2.1 Ruído

Para as medições de ruído ferroviário foram utilizados dois equipamentos de medição sonora. Na Tabela 17 e Tabela 18 estão apresentadas as principais características relativas a cada um dos equipamentos referidos. Na Figura 27 e Figura 28 é possível visualizar os referidos sonómetros.

**Tabela 17 - Características do sonómetro de classe 1 - Bruel & Kjaer 2260 Observer.**

<b>Sonómetro de tipo 1/classe 1 – Bruel &amp; Kjaer 2260 Observer</b>	
<b>Marca/Modelo/nº de série</b>	Bruel & Kjaer/2260 Observer/2418387
<b>Despacho de aprovação do Sonómetro</b>	245.70.98.3.19
<b>Boletim de verificação</b>	245.70 / 11.641
<b>Data de verificação</b>	25/10/2011
<b>Observações: A cópia do boletim de verificação é apresentada no anexo III.</b>	

Tabela 18 - Características do sonómetro de classe 2 - TES 1352.

Sonómetro de tipo 2/classe 2 – TES 1352	
Marca/Modelo/n.º de série	TES/1352/970609462
Gama de medida	30 dB a 130 dB
Gama de frequências	31,5 Hz a 8 KHz
Precisão	1,5 dB (94 dB @ 1 KHz)



Figura 27 - Sonómetro Bruel & Kjaer 2260 Observer.



Figura 28 - Sonómetro TES 1352.

Para além destes equipamentos, foram também utilizados outros equipamentos auxiliares, tais como dois tripés (um para cada sonómetro) assim como um calibrador para os sonómetros e uma bateria de 12V.

#### 4.2.2 Vibrações

Para as medições das vibrações provenientes do transporte ferroviário foi utilizado um sismógrafo, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 19. É também possível visualizar o modelo em causa na Figura 29.

Tabela 19 - Características do sismógrafo.

Sismógrafo	
Marca/Modelo/n.º de Série	GeoSonics Inc./SSU3000EZ+/8821
Gama dinâmica de medida	0,13 a 127 mm/s
Gama de frequências	2 a 250 Hz
Precisão	5%
Certificado de calibração	N.ºCACV897/12 de 6/8/2012
Observações:	A cópia do certificado de calibração é apresentada no anexo IV.



Figura 29- Sismógrafo GeoSonics Inc. SSU3000EZ+.

### 4.3 Locais de medição

A Tabela 20 identifica os diversos locais de medição, a linha, os dias em que as medições foram realizadas, as coordenadas dos locais de medição, assim como outras características do local e do dia em si, tais como a meteorologia, ambiente envolvente, características da superestrutura, entre outros. A cartografia de cada um dos locais de medição está presente no anexo II.

Tabela 20 - Características associadas a cada local, para cada dia de medição.

Local	Dia	Freguesia/Linha	Coordenadas	Meteorologia	Ambiente envolvente	Balastro/Carris/ Dormentes	Altura do sonómetro (m)	Distância do sonómetro ao eixo da linha ferroviária (m)	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)
L1	17/3/2014	Moimenta Macieira Dão/Beira alta	40° 34' 17.46 N 7° 48' 44.39 O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Maioritariamente agrícola; Algumas habitações.	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco;	1,2	7,5	-
L1	18/3/2014	Moimenta Macieira Dão/Beira alta	40° 34' 17.46 N 7° 48' 44.39 O	Céu pouco nublado; Ausência de sol e de vento;	Maioritariamente agrícola; Algumas habitações.	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco;	1,2	7,5	-
L2	19/3/2014	Lapa do Lobo/Beira alta	40° 28' 49.67 N 7° 54' 55.78 O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Misto. Florestal, agrícola e conjunto de habitações.	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco;	1,2	5,5	-
L2	16/4/2014	Lapa do Lobo/Beira alta	40° 28' 49.67 N 7° 54' 55.78 O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Misto. Florestal, agrícola e conjunto de habitações.	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco;	1,2	5,5	8
L3	29/4/2014	Cacia/Norte	40° 40' 44.21 N 8° 36' 23.80 O	Céu pouco nublado; Ausência de vento;	Misto. Florestal, agrícola e conjunto de habitações. Proximidade de uma estrada com pouco transito.	Brita; Barra longa soldada; Betão monobloco;	1,2	7	8
L4	30/4/2014	Quintãs/Norte	40° 34' 54.01 N 8° 36' 28.17 O	Céu pouco nublado; Ausência de vento;	Misto. Florestal, agrícola e conjunto de habitações.	Brita; Barra longa soldada; Betão monobloco;	1,2	7 e 10,5 (dependendo da via ferroviária)	8 e 11,5 (dependendo da via ferroviária)
L4	9/7/2014	Quintãs/Norte	40° 34' 54.01 N 8° 36' 28.17 O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Misto. Florestal, agrícola e conjunto de	Brita; Barra longa soldada;	1,2	7 e 10,5 (dependendo da	-

Local	Dia	Freguesia/Linha	Coordenadas	Meteorologia	Ambiente envolvente	Balastro/Carris/ Dormentes	Altura do sonómetro (m)	Distância do sonómetro ao eixo da linha ferroviária (m)	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)
					habitações.	Betão monobloco;		via ferroviária)	
L5	16/7/2014	Sintra/Sintra	38°47'57.22"N 9°21'14.55"O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Maioritariamente urbano.	Brita; Barra longa soldada; Betão monobloco;	1,2 (3 em relação aos carris)	10,5	-
L6	16/7/2014	S. Pedro do Estoril/Cascais	38°41'47.90"N 9°22'38.95"O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Maioritariamente urbano.	Brita; Barra longa soldada; Madeira;	1,2	7,5	-
L7	17/7/2014	Alverca/Norte	38°53'52.26"N 9° 1'32.43"O	Céu limpo; Ausência de nuvens e de vento;	Moderadamente urbano e agrícola	Brita; Barra longa soldada; Betão bi-bloco.	1,2	7	-

## 4.4 Material circulante analisado

### 4.4.1 Série 2200

Os comboios da Série 2200 correspondem a automotoras elétricas, do tipo Unidades Triplicas Elétricas (UTE's). Fazem somente o transporte regional e inter-regional, tendo um comprimento total de 70,5 metros e atingindo uma velocidade máxima de 120 Km/h. Quanto ao tipo de travões, estes são 100% de discos. O UTE 2200 foi analisado no local 4. Na Figura 30 é apresentado um esquema e uma fotografia do UTE Série 2200 no momento da sua passagem.

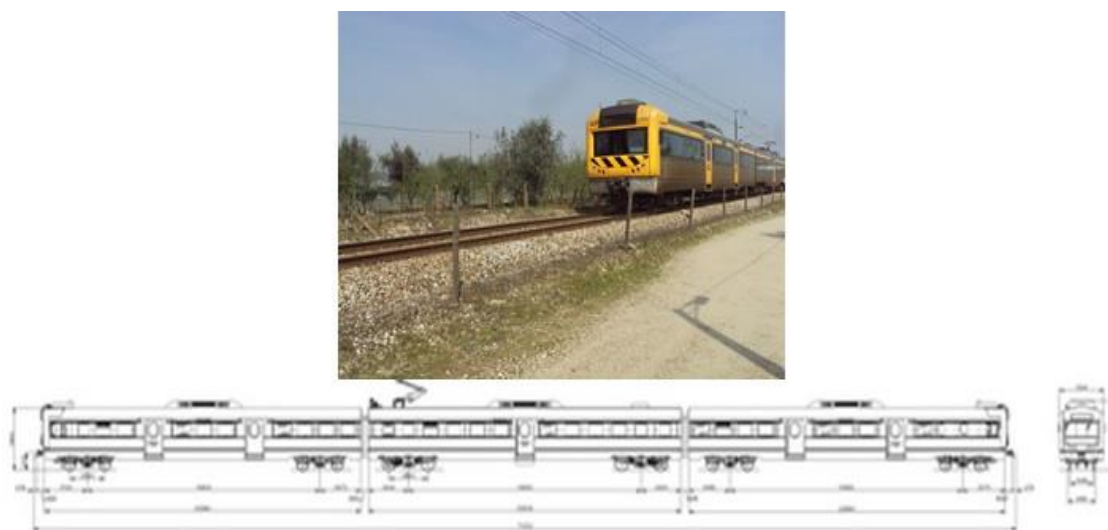


Figura 30 – Esquema e fotografia do UTE Série 2200 (CP, 2014b).

### 4.4.2 Série 5600

Os comboios da Série 5600 correspondem a locomotivas elétricas, fazendo unicamente o serviço Intercidades. Têm um comprimento total de 20,44 metros e atingem uma velocidade máxima de 220 Km/h. Para o serviço Intercidades, as locomotivas 5600 trazem acopladas carruagens do tipo Corail/Sorefame, com comprimentos de 26,4 metros e de 26,6 metros por carruagem, respetivamente. As locomotivas 5600 têm travões 100% de cecos nas rodas e as carruagens Corail/Sorefame têm travões de discos e de cecos nas rodas. Este material circulante foi analisado no local 4. Na Figura 31 é apresentado um esquema da Locomotiva e das carruagens que compõem o Intercidades, assim como uma fotografia aquando da sua passagem.



#### 4.4.5 Série 2300 e 2400

Os comboios da Série 2300 e 2400 são automotoras elétricas do tipo UQE. Este transporte ferroviário circula quase exclusivamente na linha de Sintra, fazendo serviço urbano, sendo que, principalmente nas horas de ponta é usual circularem duas unidades UQE interligadas com 8 carruagens no total. O seu comprimento total é de 95,59 metros (191,18 metros no caso de duas UQE interligadas), sendo que a sua velocidade máxima é de 120 Km/h. Quanto ao tipo de travões, estes são 50% de discos e 50% de cepos. A sua análise foi realizada no local 5. Na Figura 34 é possível visualizar um esquema dos UQE Série 2300 e Série 2400, assim como uma fotografia aquando da sua passagem.

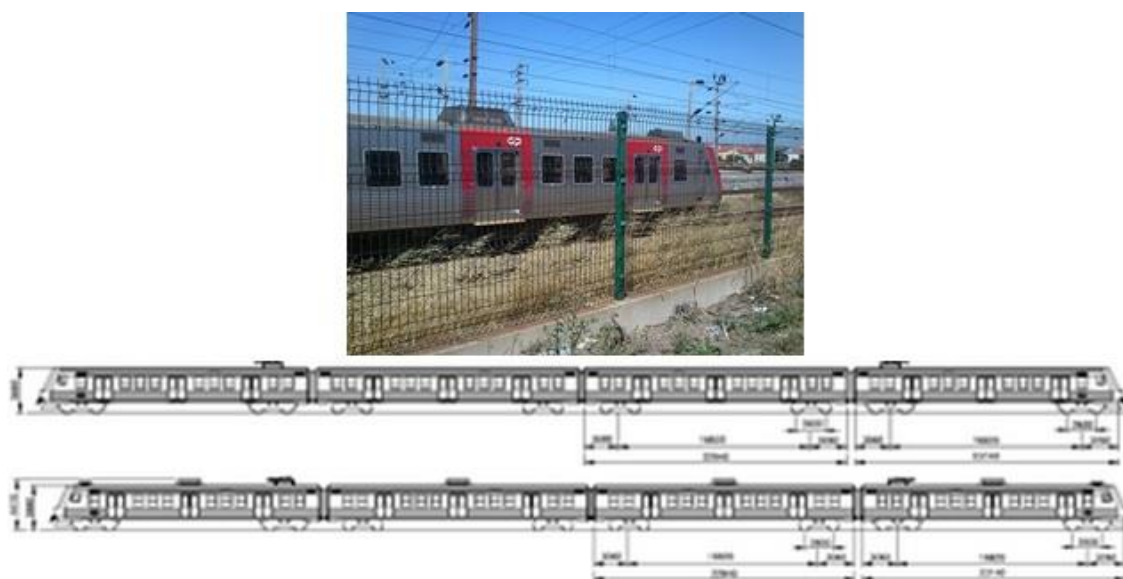


Figura 34 – Esquema e fotografia do UQE Série 2300 e UQE Série 2400 (CP, 2014b).

#### 4.4.6 Série 3100 e 3200

O material circulante da Série 3100 e 3200 são do tipo automotoras elétricas e fazem unicamente o serviço urbano na linha de Cascais. A Série 3100 corresponde a uma UTE, enquanto que a Série 3200 corresponde a uma UQE. O comprimento total da UTE é de 59,34 metros e a da UQE é de 79,94 metros. Nas horas de ponta é comum verificar-se duas UTE interligadas (com comprimento total de 118,68 metros) e uma interligação UTE + UQE (com comprimento de 139,28 metros). A sua velocidade máxima é de 90 Km/h e os travões são 100% de cepos. A sua monitorização foi realizada no local 6. Na Figura 35 é possível visualizar um esquema dos UTE Série 3100 e UQE Série 3200, assim como uma fotografia do UTE+UQE aquando da sua passagem.

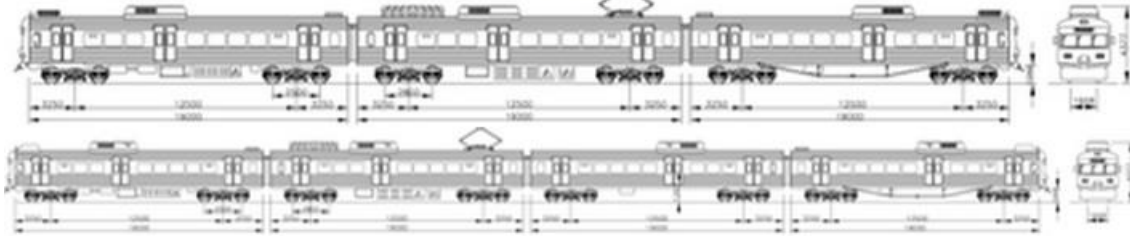


Figura 35 - Esquema do UTE Série 3100 e UQE Série 3200. Fotografia de um UTE+UQE Série 3100/3200 (CP, 2014b).

#### 4.4.7 Série 3500

Estes comboios correspondem a automotoras elétricas do tipo UQE. No entanto no caso específico deste material circulante, existem 2 pisos para os passageiros. A sua circulação ocorre principalmente na zona suburbana de Lisboa com ligações à Zona Sul da cidade e à Azambuja. A sua velocidade máxima é de 140 Km/h e o comprimento total de 106,6 metros. Quanto aos travões, nos rodados motores (8 rodados motores no total) os travões são de disco e de cepos, e nos rodados livres (8 rodados livres no total) os travões são de disco. Este material circulante foi analisado no local 7, sendo que na Figura 36 é apresentado um esquema e uma fotografia do UQE Série 3500 aquando da sua passagem.

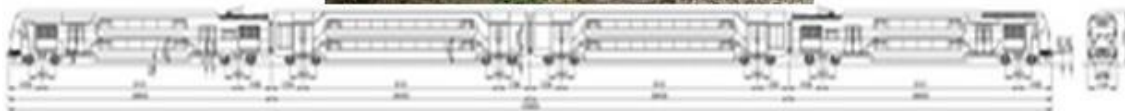


Figura 36 - Esquema e fotografia do UQE Série 3500 (CP, 2014b).

Na Tabela 21 é possível analisar as diversas características e particularidades de cada material circulante analisado.

Tabela 21 - Características e particularidades do material circulante analisado.

Material circulante	Tipo de veículo	Potência nominal (kW)	Velocidade máxima (Km/h)	Peso (ton.)	Comprimento (m)	Nº veículos	Nº bogies	Nº de rodados	Tipo de travão
<b>Série 4000 (Alfa Pendular)</b>	Automotora elétrica	4000	220	- Tara: 298; - Em carga normal: 324;	158,9	6	12 - Tração distribuída;	24 - 8 rodados motores;	100% discos;
<b>Série 5600 (Intercidades)</b>	Locomotiva elétrica	5600	220	87	20,44	1	2 - 2 bogies motores;	4 - 4 rodados motores;	100% cepos;
<b>Carruagens Intercidades (Corail e Sorefame)</b>	Veículo rebocado de passageiros	-	200	- Tara: 44; - Em carga normal: 48;	26,4 / 26,62	1	2 - 2 bogies livres;	4 (livres);	Todos os rodados têm travão de disco e de cepo nas rodas;
<b>Série 2240 (Regional)</b>	Automotora elétrica	1260	120	- Tara: 136; - Em carga normal: 166;	70,5	3	6 - 2 bogies motores; - 4 bogies livres;	12 - 4 rodados motores; - 8 rodados livres;	100% discos;
<b>Série 3400 (Urbano)</b>	Automotora elétrica	1500	140	- Tara: 118; - Em carga normal: 149;	66,8	4	5 - 3 bogies motores; - 2 bogies livres;	10 - 6 rodados motores; - 4 rodados livres;	100% discos;
<b>Série 2300/2440 (Urbano)</b>	Automotora elétrica	3100	120	- Tara: 180; - Em carga normal: 225;	95,59	4	8 - 4 bogies motores;	16 - 8 rodados motores; - 8 rodados livres;	50% discos (rodados livres) e 50% cepos (rodados motores);
<b>Série 3150 (Urbano)</b>	Automotora elétrica	960	90	- Tara: 118; - Em carga normal: 147;	59,34	3	6 - 2 bogies motores;	12 - 4 rodados motores;	100% cepos;

Material circulante	Tipo de veículo	Potência nominal (kW)	Velocidade máxima (Km/h)	Peso (ton.)	Comprimento (m)	Nº veículos	Nº bogies	Nº de rodados	Tipo de travão
								- 8 rodados livres;	
<b>Série 3250 (Urbano)</b>	Automotora elétrica	960	90	- Tara: 147; - Em carga normal: 186;	78,94	4	8 - 2 bogies motores;	16 - 4 rodados motores; - 12 rodados livres;	100% cepos;
<b>Série 3500 (Urbano)</b>	Automotora elétrica	3475	140	- Tara: 225; - Em carga normal: 287;	106,6	4	8 - 4 bogies motores;	16 - 8 rodados motores; - 8 rodados livres;	- Rodados motores: discos e cepos nas rodas; Rodados livres: discos;

## 4.5 Resultados

### 4.5.1 Caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário circulante em Portugal

Da Tabela 22 até à Tabela 30, é apresentado o tipo de material circulante por local de medição e os valores de  $L_{Aeq}$  de 1 hora obtidos para a passagem de cada material circulante caracterizado. São apresentadas as velocidades obtidas manualmente assim como as velocidades fornecidas pela REFER. Em formato gráfico, entre a Figura 37 e a Figura 50, são apresentados os espectros de frequências para as várias passagens de comboios. Como referido anteriormente, foram efetuadas medições em 7 locais distintos, sendo que no local 1 e local 2 as medições realizadas foram apenas utilizadas no estudo comparativo entre o sonómetro classe 1 e de classe 2, assim como no que diz respeito ao comparativo de velocidades

#### 4.5.1.1 Local 1

Tabela 22 - Velocidades e tipo de material circulante registado no local 1.

Nº medição	Tipo de material circulante	Velocidade determinada (Km/h)	Velocidade fornecida REFER (Km/h)	Sentido
1	IC Série 5600 + 4 carruagens	25	130	Mangualde
2	Regional UTE Série 2200	27	110	Nelas
3	Regional UTE Série 2200	24	110	Mangualde
4	IC Série 5600 + 4 carruagens	26	130	Nelas
5	Mercadorias Série 5600 + 8 carruagens	26	-	Nelas
6	Regional UTE Série 2200	28	110	Nelas
7	IC Série 5600 + 4 carruagens	29	130	Mangualde
9	Regional UTE Série 2200	26	110	Mangualde
10	IC Série 5600 + 4 carruagens	25	130	Mangualde
11	Regional UTE Série 2200	23	110	Nelas
12	Regional UTE Série 2200	24	110	Mangualde
13	IC Série 5600 + 4 carruagens	24	130	Nelas
14	Mercadorias Série 5600 + 18 carruagens	27	-	Nelas
15	Mercadorias Série	27	-	Nelas

Nº medição	Tipo de material circulante	Velocidade determinada (Km/h)	Velocidade fornecida REFER (Km/h)	Sentido
	5600 + 20 carruagens			
16	Regional UTE Série 2200	28	110	Nelas
17	IC Série 5600 + 4 carruagens	29	130	Mangualde
18	Regional UTE Série 2200	26	110	Mangualde

#### 4.5.1.2 Local 2

Tabela 23 - Velocidades e tipo de material circulante registado no local 2.

Nº medição	Tipo de material circulante	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido
19	IC Série 5600 + 4 carruagens	93	160	Mangualde
22	Regional UTE Série 2200	90	110	Mangualde
23	IC Série 5600 + 4 carruagens	93	160	Mangualde
25	Regional UTE Série 2200	86	110	Mangualde
26	IC Série 5600 + 4 carruagens	95	160	Nelas
27	Mercadorias Série 5600 + 13 carruagens	71	-	Nelas
28	Mercadorias Série 5600 + 21 carruagens	50	-	Nelas
29	Regional UTE Série 2200	90	110	Nelas
30	Mercadorias Série 5600 + 14 carruagens	68	-	Nelas
31	IC Série 5600 + 4 carruagens	90	160	Mangualde

#### 4.5.1.3 Local 3

Tabela 24 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE Série 3400, no sentido Cacia.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
32	70	120	Cacia	48,7
37	73	120	Cacia	47,7
41	71	120	Cacia	48,4
47	68	120	Cacia	47,6
63	71	120	Cacia	48,9

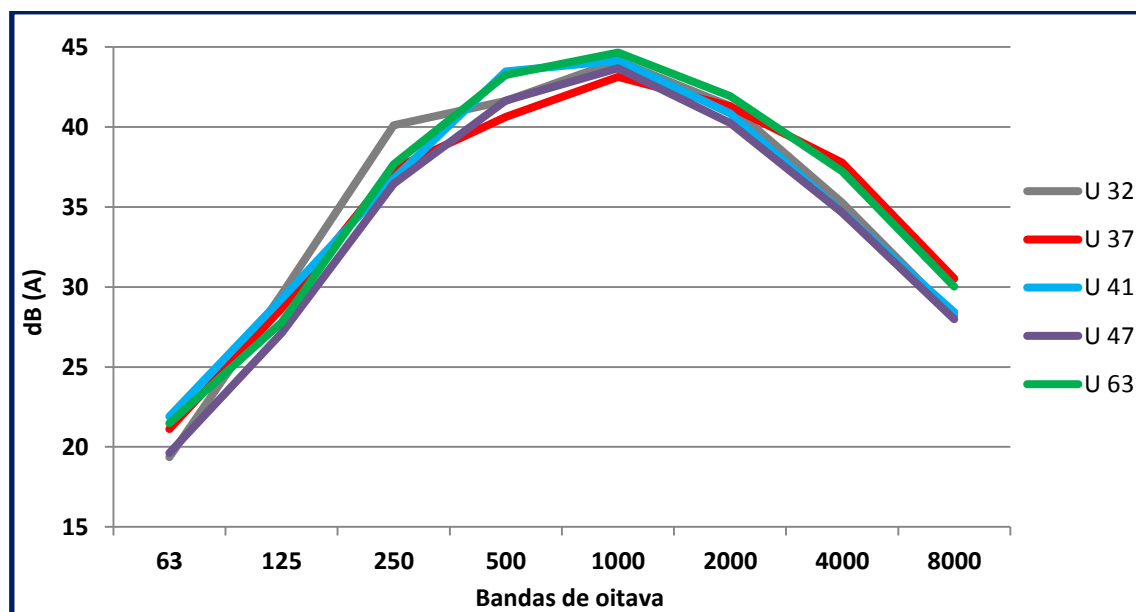


Figura 37 - Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos UQE Série 3400 no sentido Cacia.

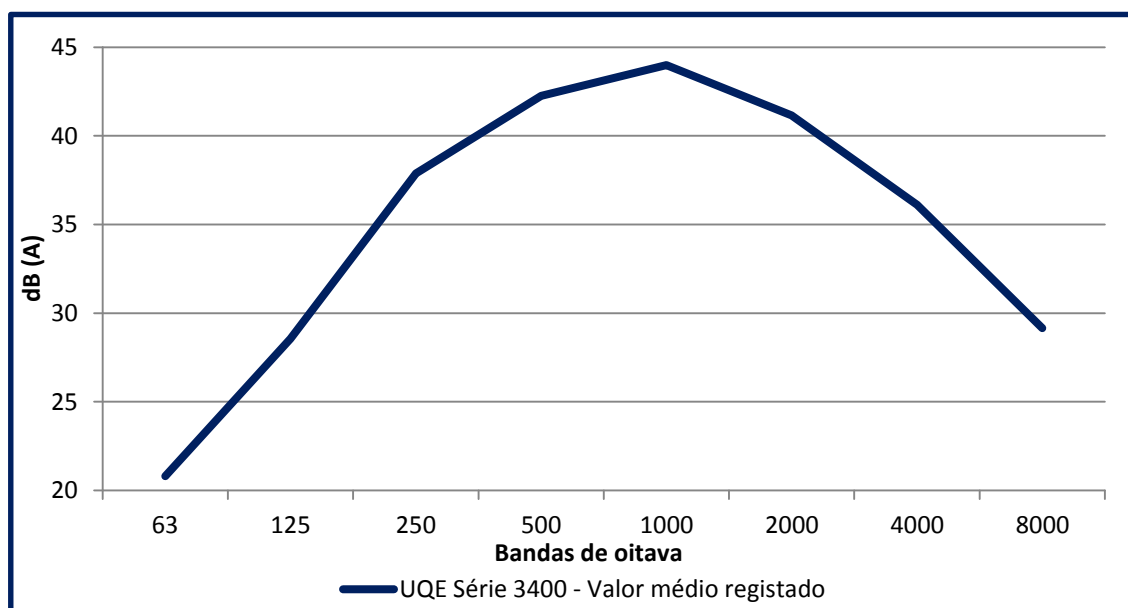


Figura 38 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos UQE Série 3400 no sentido Cacia.

#### 4.5.1.4 Local 4

Tabela 25 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Intercidades, Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
67	130	190	Coimbra	68,8
94	164	190	Coimbra	70,8
101	174	190	Coimbra	69,9
109	167	190	Coimbra	71,5

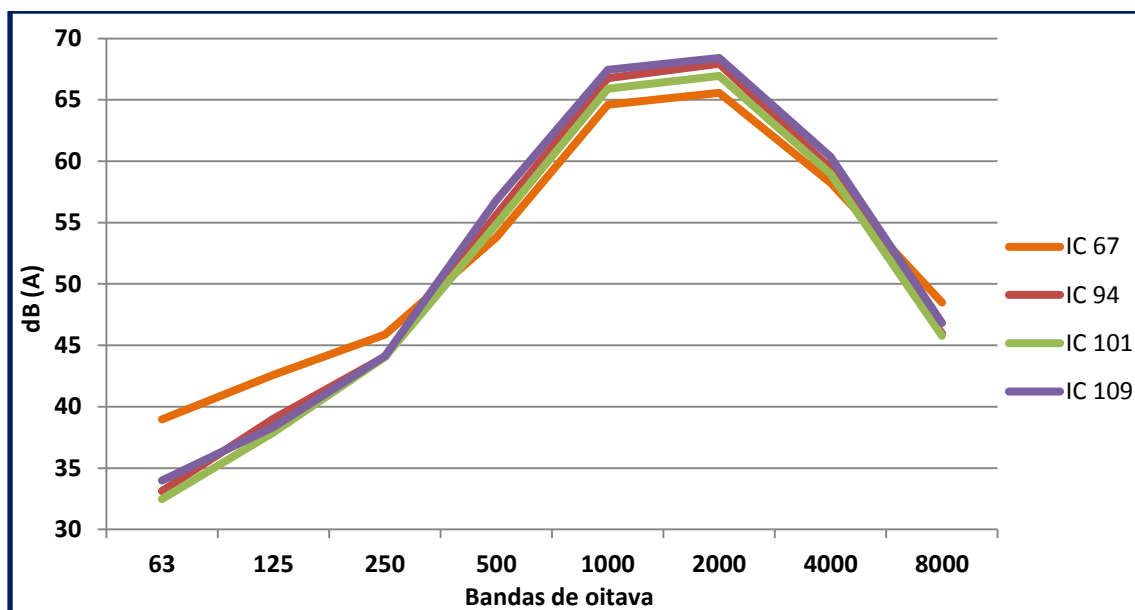


Figura 39 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Intercidades Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra.

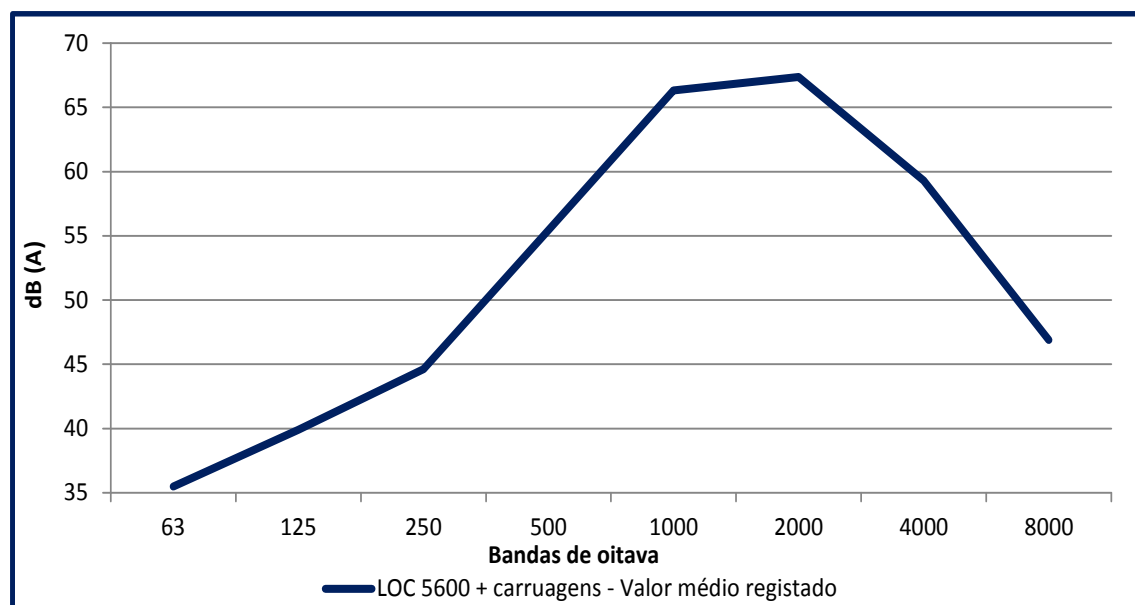


Figura 40 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Intercidades Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame, no sentido Coimbra.

Tabela 26 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Regionais UTE Série 2200 no sentido Aveiro.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
69	119	107	Aveiro	54,4
81	110	107	Aveiro	53,7
87	101	107	Aveiro	54,2
91	105	107	Aveiro	53,8
93	98	107	Aveiro	54,0
96	104	107	Aveiro	53,7
105	99	107	Aveiro	52,9

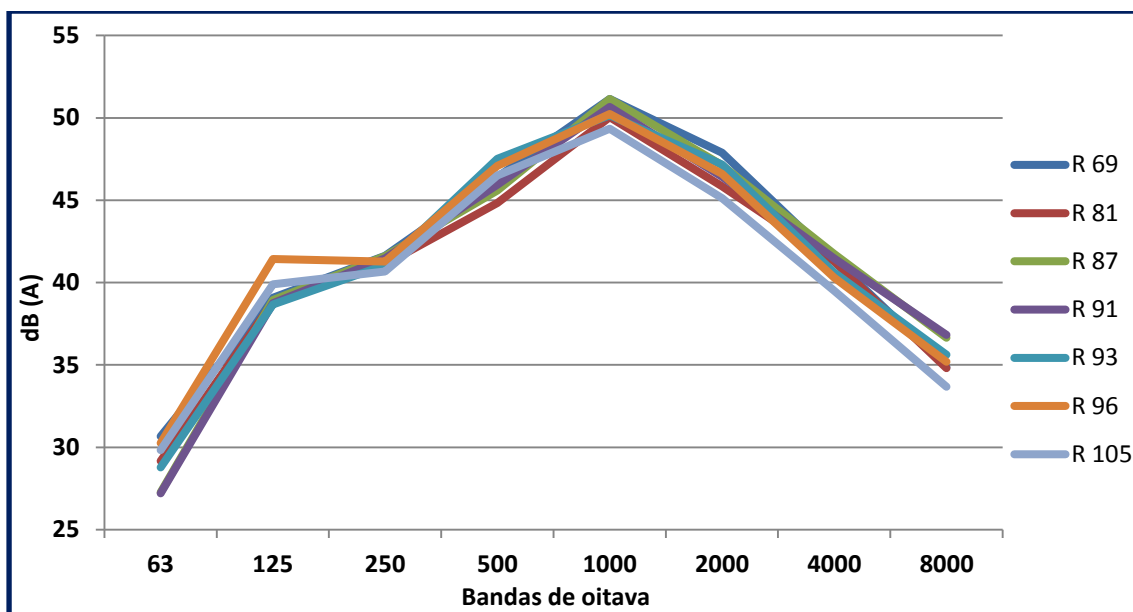


Figura 41 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Regionais UTE Série 2200, no sentido Aveiro.

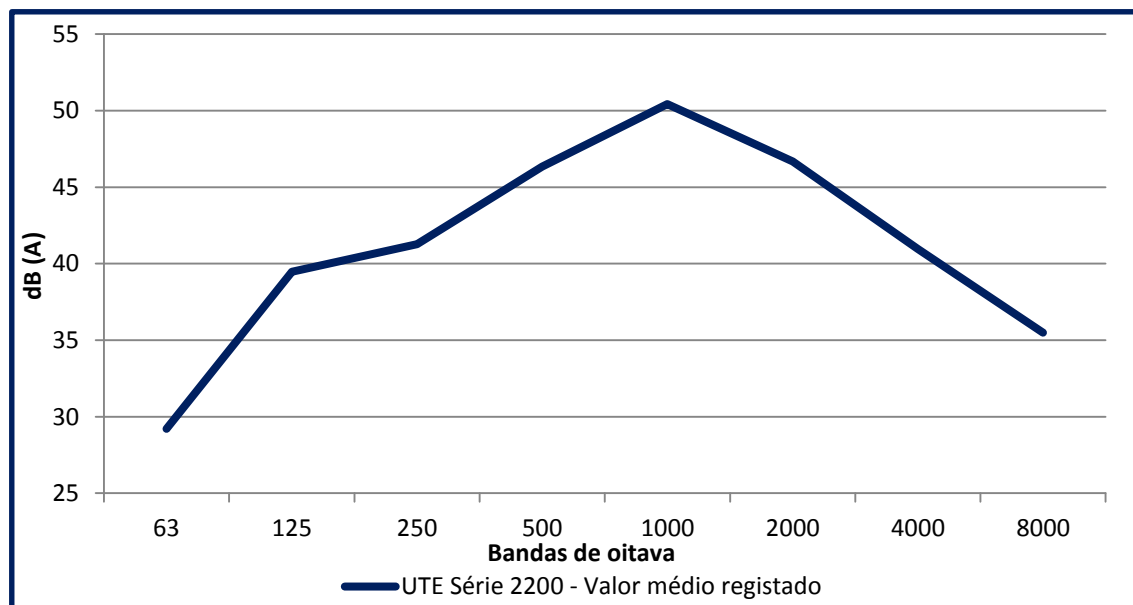


Figura 42 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Regionais UTE Série 2200, no sentido Aveiro.

Tabela 27 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Alfa Pendular Série 4000 no sentido Aveiro.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
73	163	220	Aveiro	63,6
79	163	220	Aveiro	63,7
89	163	220	Aveiro	63,9

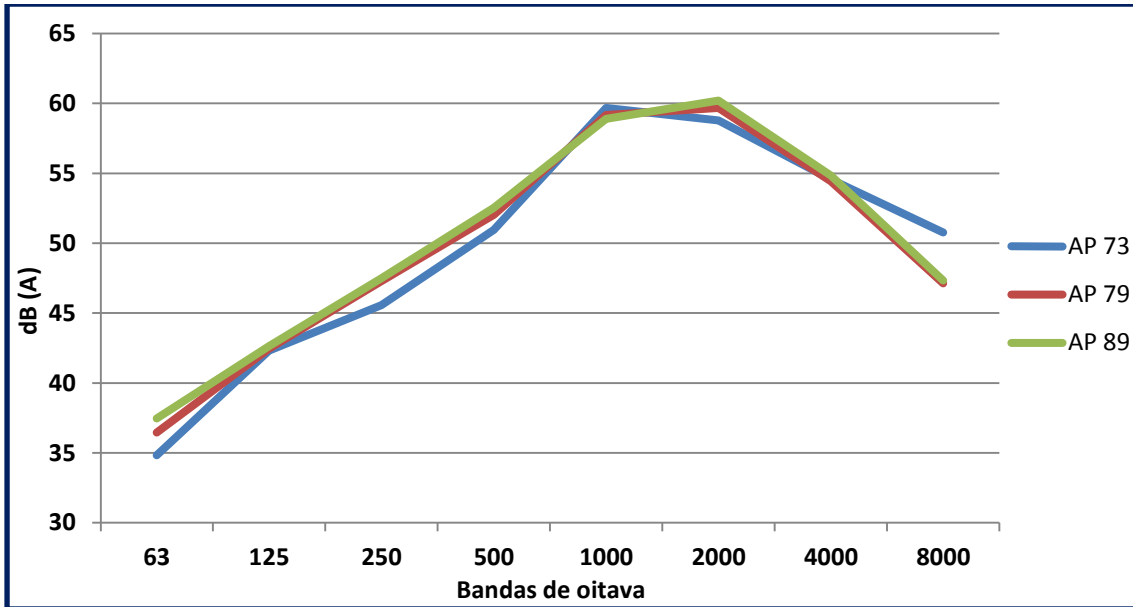


Figura 43 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Alfa Pendular Série 4000, no sentido Aveiro.

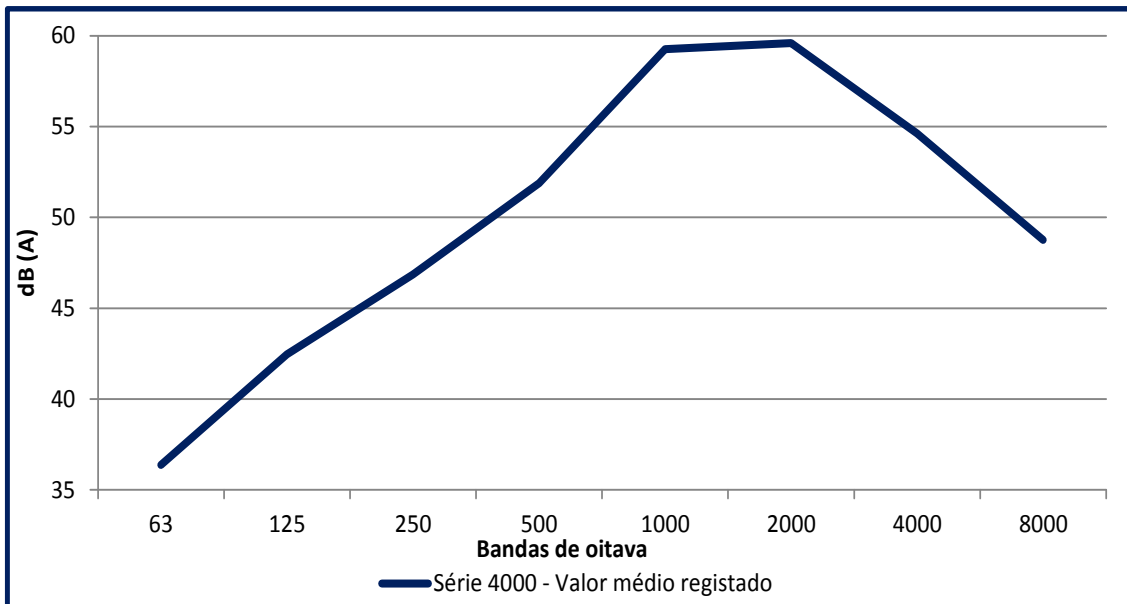


Figura 44 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Alfa Pendular Série 4000, no sentido Aveiro.

#### 4.5.1.5 Local 5

Tabela 28 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE 2300/2400 no sentido Lisboa.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
113	86	90	Lisboa	63,8
116	85	90	Lisboa	63,6
118	96	90	Lisboa	64,7
122	86	90	Lisboa	63,6
127	95	90	Lisboa	64,6

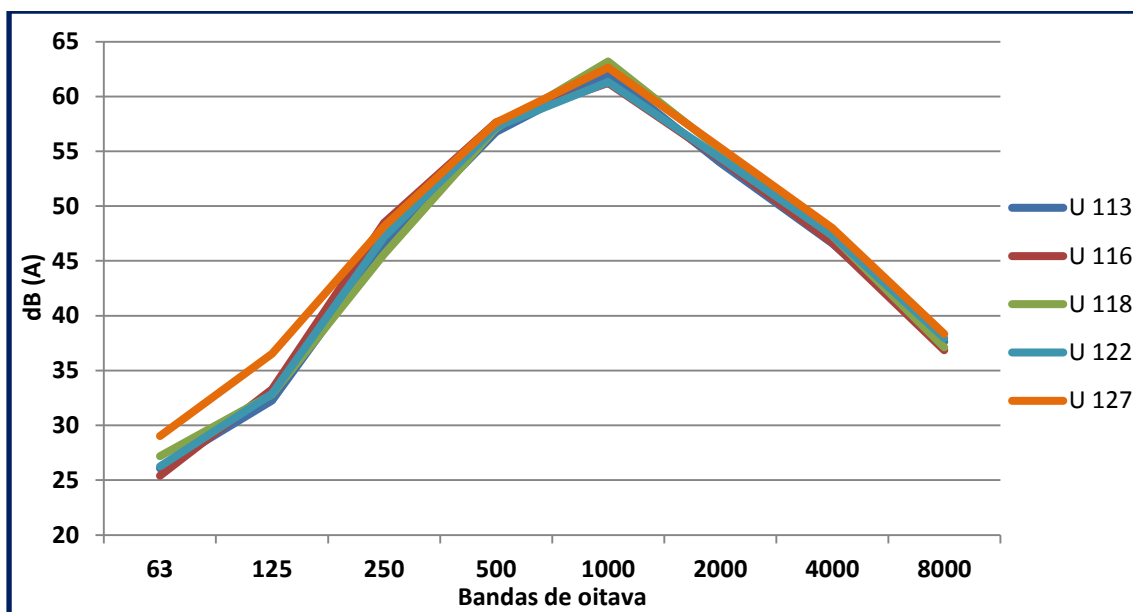


Figura 45 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos Série 2300/2400, no sentido Lisboa.

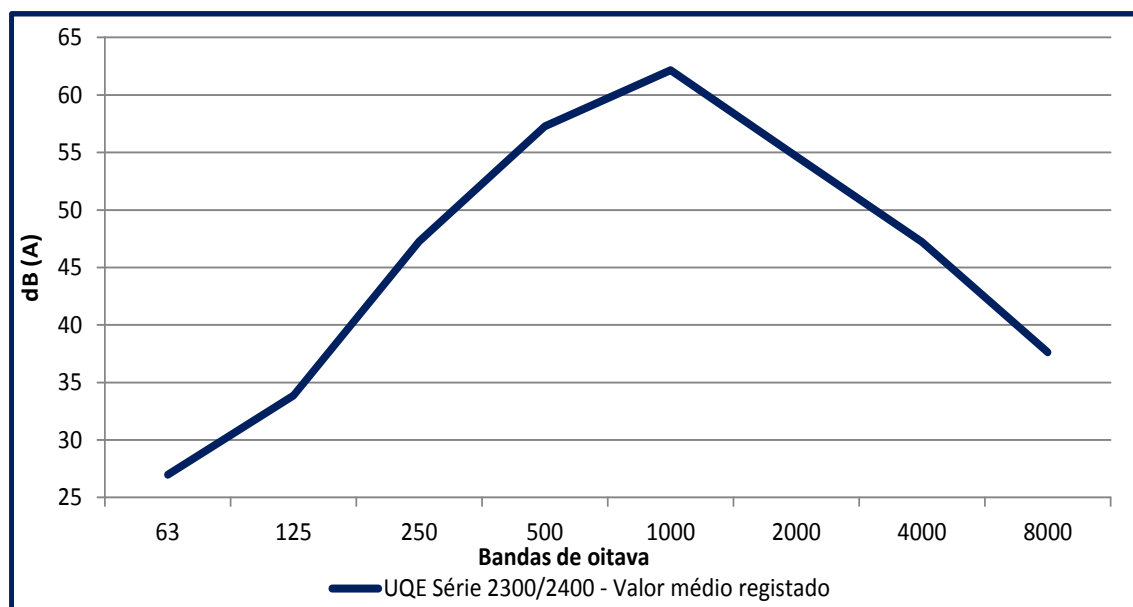


Figura 46 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos Série 2300/2400, no sentido Lisboa.

#### 4.5.1.6 Local 6

Tabela 29 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE + UTE 3100/3200 no sentido Lisboa.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
134	60	66	Lisboa	59,2
136	60	66	Lisboa	59,7
138	62	66	Lisboa	59,3
140	63	66	Lisboa	59,3
142	63	66	Lisboa	59,2

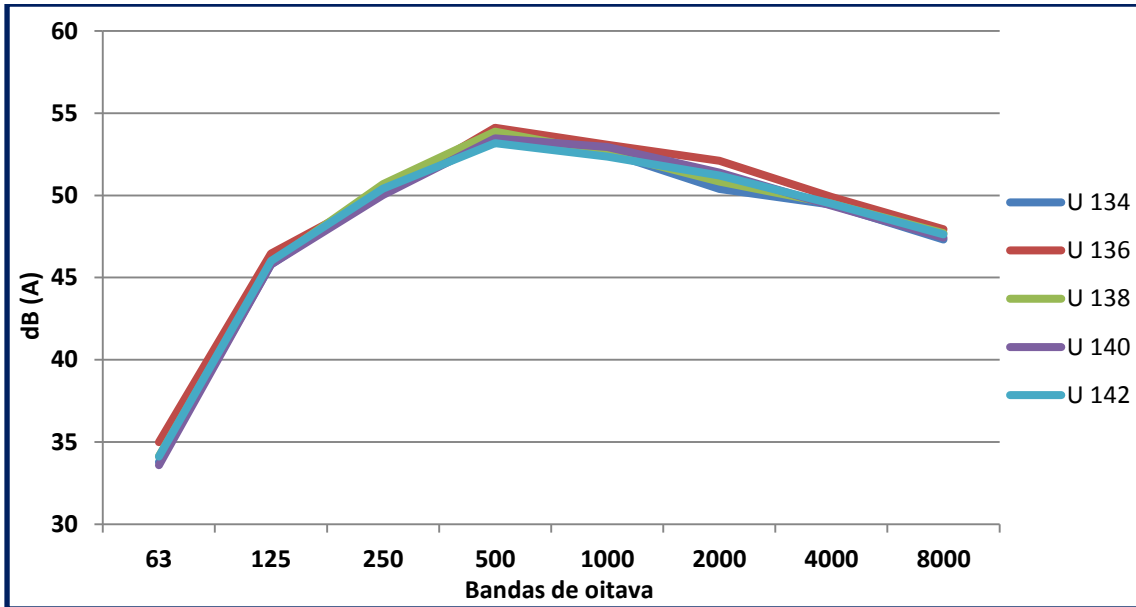


Figura 47 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos UQE+UTE Série 3100/3200, no sentido Lisboa.

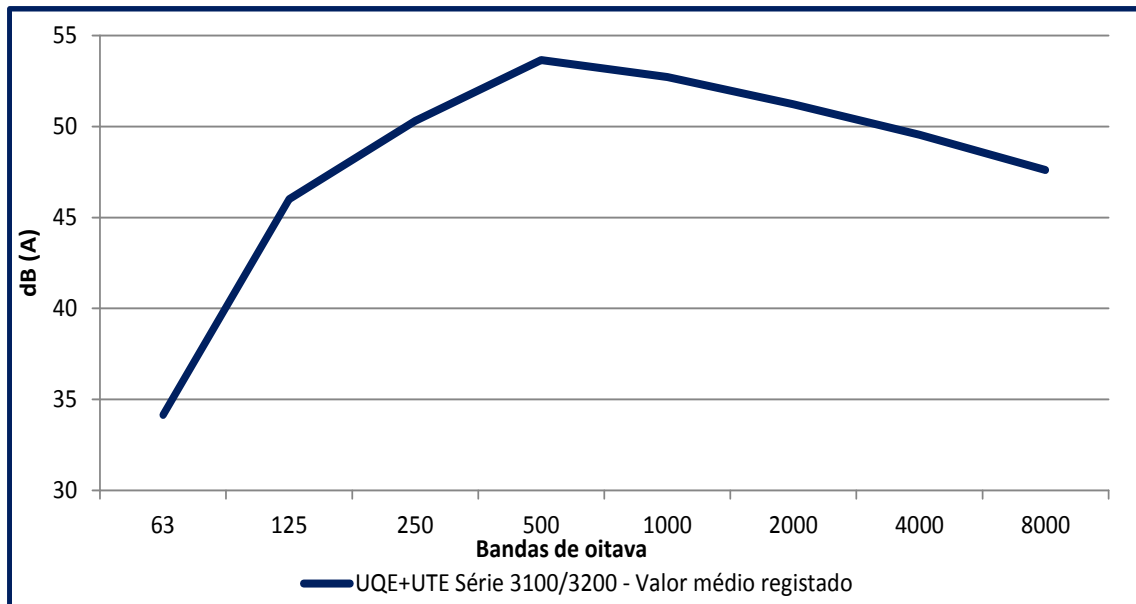


Figura 48 - Espectro de frequências de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos UQE+UTE Série 3100/3200, no sentido Lisboa.

#### 4.5.1.7 Local 7

Tabela 30 - Níveis de pressão sonora obtidos pelos Urbanos UQE Série 3500 no sentido Alhandra.

Nº medição	Velocidade (Km/h)	Velocidade REFER (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))
147	80	114	Alhandra	52,2
151	98	114	Alhandra	52,3
156	86	114	Alhandra	49,6
158	103	114	Alhandra	50,5

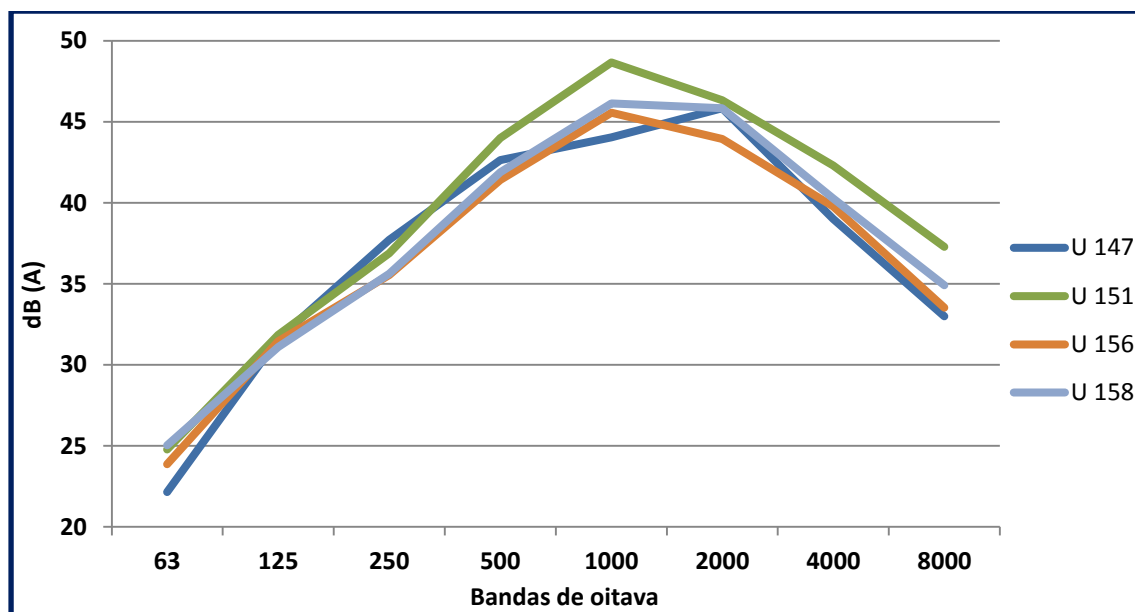


Figura 49 – Espectro de frequências e de nível sonoro para a passagem dos Urbanos Série 3500, no sentido Alhandra.

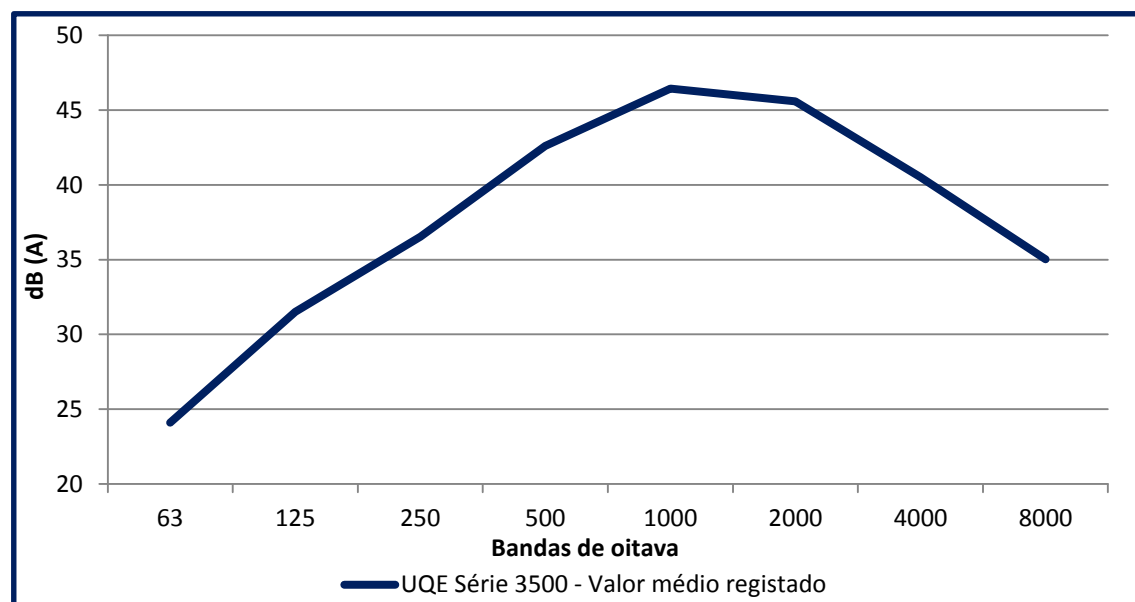


Figura 50 - Espectro de frequências e de nível sonoro médio para a passagem dos Urbanos Série 3500, no sentido Alhandra.

#### 4.5.2 Comparação de sonómetros de diferentes classes

No que diz respeito ao estudo comparativo entre os sonómetros de classe 1 e classe 2, no anexo V, entre a Figura 64 e Figura 91 são apresentados os resultados obtidos das medições efetuadas com ambos os sonómetros para um período de passagem de um dado tipo de material circulante. Nas figuras referidas, ao sonómetro de classe 1 é dada a designação de S1 e ao sonómetro de classe 2 é dada a designação de S2.

A Tabela 31 faz um comparativo entre os dois sonómetros para todas as medições efetuadas com ambos. É tido em conta o  $L_{Aeq}$  de passagem de um determinado material circulante assim como o seu respetivo  $L_{Aeq}$  1 hora.

Tabela 31 - Comparativo das medições entre os dois sonómetros.

Nº medição	S1 - $L_{Aeq}$ passagem (dB (A))	S2 - $L_{Aeq}$ passagem (dB (A))	S1 - $L_{Aeq}$ 1 hora (dB (A))	S2 - $L_{Aeq}$ 1 hora (dB (A))	Diferença
1	74,1	73,5	54,9	54,3	0,6
2	67,2	66,3	47	46,1	0,9
3	66,2	65,2	45	44	1,0
6	67,6	66,0	47,9	46,3	1,6
7	76,2	75,1	57	55,9	1,1
9	66,3	65,2	45,4	44,3	1,1
10	73,7	73,5	54,6	54,4	0,2
11	66,3	65,7	45,7	45,1	0,6
12	65,4	64,6	45,4	44,6	0,8
13	68,9	68,0	49,7	48,8	0,9
14	78,2	77,6	61,4	60,8	0,6
15	73,2	72,4	56,2	55,4	0,8
16	68,2	67,3	48,3	47,4	0,9
17	71,3	70,8	52,1	51,6	0,5
18	65,2	64,8	46	45,6	0,4
19	83,7	81,8	60,7	58,8	1,9
32	71,2	70,3	48,4	47,5	0,9
33	83,1	79,6	60,1	56,6	3,5
34	68,5	67,4	45,2	44,1	1,1
35	85,3	83,4	61,8	59,9	1,9
36	84,1	81,8	60,6	58,3	2,3
37	70,7	69,2	47,7	46,2	1,5
38	69,5	68,1	45,1	43,7	1,4
94	93,6	92,9	70,8	70,1	0,7
95	81,7	80,7	59,6	58,6	1,0
96	77,0	76,1	53,7	52,8	0,9
99	96,3	95,8	74,0	73,5	0,5
100	81,9	81,1	59,8	59,0	0,8

#### 4.5.3 Caracterização das vibrações geradas por tráfego ferroviário circulante em Portugal

Da Tabela 32 até à Tabela 42 são apresentados os valores de velocidade de vibração obtidos nos diferentes locais de medição, assim como o número da medição, as características do material circulante, a sua velocidade de circulação e o  $L_{Aeq}$  1 hora. No anexo VI, entre a Figura 92 e a Figura 142 estão representados os resultados obtidos, em formato gráfico, das medições efetuadas.

4.5.3.1 Local 2

Tabela 32 – Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 2.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
26	Série 5600 + 4 carruagens	90	62,1	0,95
31	Série 5600 + 4 carruagens	90	60,0	0,89

Tabela 33 - Valor Resultante obtido para o Regional no local 2.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
29	UTE Série 2200	90	57,4	0,76

Tabela 34 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 2.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
27	Série 5600 + 13 carruagens	70	58,3	1,02
28	Série 5600 + 21 carruagens	50	61,4	1,02
30	Série 5600 + 14 carruagens	70	56,2	0,95

4.5.3.2 Local 3

Tabela 35 - Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 3.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
42	Série 5600 + 4 carruagens	137	Norte-Sul	59,6	0,32
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
33	Série 5600 + 4 carruagens	132	Sul-Norte	60,1	1,27
44	Série 5600 + 4 carruagens	132	Sul-Norte	57,8	2,35

Tabela 36 - Valor Resultante obtido para os Urbanos no local 3.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
53	UQE Série 3400	58	Norte-Sul	44,4	0,32
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
37	UQE Série 3400	86	Sul-Norte	47,7	0,38
63	UQE Série 3400	95	Sul-Norte	48,9	0,38
52	UQE Série 3400	110	Sul-Norte	49,8	0,38
49	UQE Série 3400	120	Sul-Norte	49,2	0,38
47	UQE Série 3400	111	Sul-Norte	47,6	0,44
41	UQE Série 3400	115	Sul-Norte	48,4	0,57

Tabela 37 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 3.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
48	Série 5600 + 25 carruagens	78	Norte-Sul	61,7	0,57
43	Série 5600 + 9 carruagens	85	Norte-Sul	57,8	0,7
55	Série 5600 + 16 carruagens	102	Norte-Sul	63,5	0,51
58	Série 6000 + 17 carruagens	91	Norte-Sul	60,5	0,64
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
40	Série 6000 + 13 carruagens	85	Sul-Norte	63,0	1,97
59	Série 6000 + 27 carruagens	93	Sul-Norte	64,1	1,27

Tabela 38 - Valor Resultante obtido para os Alfa Pendular no local 3.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
51	Série 4000	180	Norte-Sul	61,3	0,32
61	Série 4000	180	Norte-Sul	61,3	0,32
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
36	Série 4000	131	Sul-Norte	60,6	0,57
50	Série 4000	134	Sul-Norte	59,9	0,51
62	Série 4000	150	Sul-Norte	60,2	0,51

#### 4.5.3.3 Local 4

Tabela 39 - Valor Resultante obtido para os Intercidades no local 4.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
67	Série 5600 + 5 carruagens	129	Norte-Sul	11,5	68,8	3,94
86	Série 5600 + 5 carruagens	118	Norte-Sul	11,5	66,9	1,65
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
72	Série 5600 + 5 carruagens	127	Norte-Sul	8	63,2	3,37

Tabela 40 - Valor Resultante obtido para os Regionais no local 4.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
75	UTE Série 2200	80	Norte-Sul	11,5	57,2	1,21
68	UTE Série 2200	83	Norte-Sul	11,5	58,4	1,27
88	UTE Série 2200	83	Norte-Sul	11,5	57,8	0,83
85	UTE Série 2200	89	Norte-Sul	11,5	58,1	0,95
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
76	UTE Série 2200	102	Norte-Sul	8	55,0	1,52
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
87	UTE Série 2200	101	Sul-Norte	8	54,2	1,59
81	UTE Série 2200	110	Sul-Norte	8	53,7	1,33
69	UTE Série 2200	129	Sul-Norte	8	54,4	1,33

Tabela 41 - Valor Resultante obtido para os comboios de Mercadorias no local 4.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
70	Série 4700 + 14 carruagens	86	Norte-Sul	11,5	69,9	1,33
82	Série 5600 + 14 carruagens	74	Norte-Sul	11,5	68,7	2,54
83	Série 6000 + 17 carruagens	84	Norte-Sul	11,5	67,9	1,52
84	Série 4700 + 8 carruagens	85	Norte-Sul	11,5	67,7	2,41
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao	L <sub>Aeq</sub> 1 hora	Resultante (mm/s)

				eixo da linha ferroviária (m)	(dB (A))	
66	Série 5600 + 11 carruagens	80	Sul-Norte	8	65,5	1,65
71	Série 4700 + 22 carruagens	71	Sul-Norte	8	64,3	2,22

Tabela 42 - Valor Resultante obtido para os Alfa Pendular no local 4.

N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
74	Série 4000	162	Norte-Sul	11,5	69,7	1,14
80	Série 4000	137	Norte-Sul	11,5	69,5	1,02
90	Série 4000	137	Norte-Sul	11,5	69,5	1,27
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
64	Série 4000	142	Norte-Sul	8	69,4	1,21
N.º medição	Tipo de comboio	Velocidade (Km/h)	Sentido	Distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária (m)	L <sub>Aeq</sub> 1 hora (dB (A))	Resultante (mm/s)
73	Série 4000	163	Sul-Norte	8	63,6	1,46
79	Série 4000	163	Sul-Norte	8	63,7	1,91
89	Série 4000	163	Sul-Norte	8	63,9	2,1

## 4.6 Discussão dos resultados

### 4.6.1 Caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário circulante em Portugal

O estudo centrou-se na correspondência do material circulante português às categorias da RMR 96/SMR II. Assim, importa recordar a descrição de cada uma das nove categorias, que são as seguintes:

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

Na Figura 51 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 (monobloco ou bi-bloco) sobre balastro.

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.

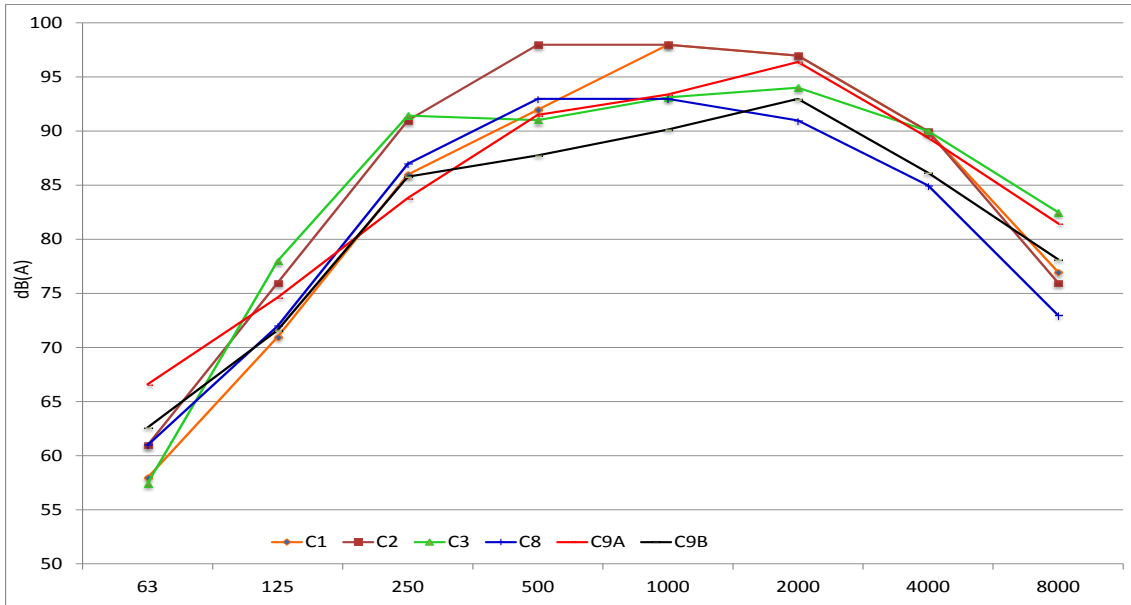


Figura 51 - Espectro em bandas de oitava para cada uma das categorias da norma RMR 96/SMR II.

#### 4.6.1.1 Intercidades Série 5600 + carruagens

O material circulante que faz o serviço ferroviário Intercidades foi monitorizado no local 4. De acordo com o tipo de características deste material circulante, nomeadamente ao nível do tipo de transporte e tipo de travões, a categoria que melhor que aplica é a categoria 2 (comboios de passageiros com travões de discos e travões de cepos). Deste modo foi elaborada uma comparação com o previsto na categoria 2. Verificou-se que um bom ajuste com as medições efetuadas apenas é obtido quando se considera uma razão de 2 em relação ao número de unidades. Como se pode ver na Figura 52, a concordância para a razão analisada é bastante boa. A Tabela 43 mostra a diferença, em termos de  $L_{Aeq}$  1 hora, entre as medições efetuadas para o presente material circulante e o valor obtido através da previsão efetuada, na razão indicada. Como se pode ver as diferenças são pouco acentuadas, sendo que somente num dos casos é que o desvio é superior a 2 dB (A). Assim, é possível referir que a passagem de um Intercidades com uma locomotiva 5600 e 5 carruagens Corail/Sorefame, corresponde à passagem de 12 unidades da categoria 2 da RMR 96/SMR II.

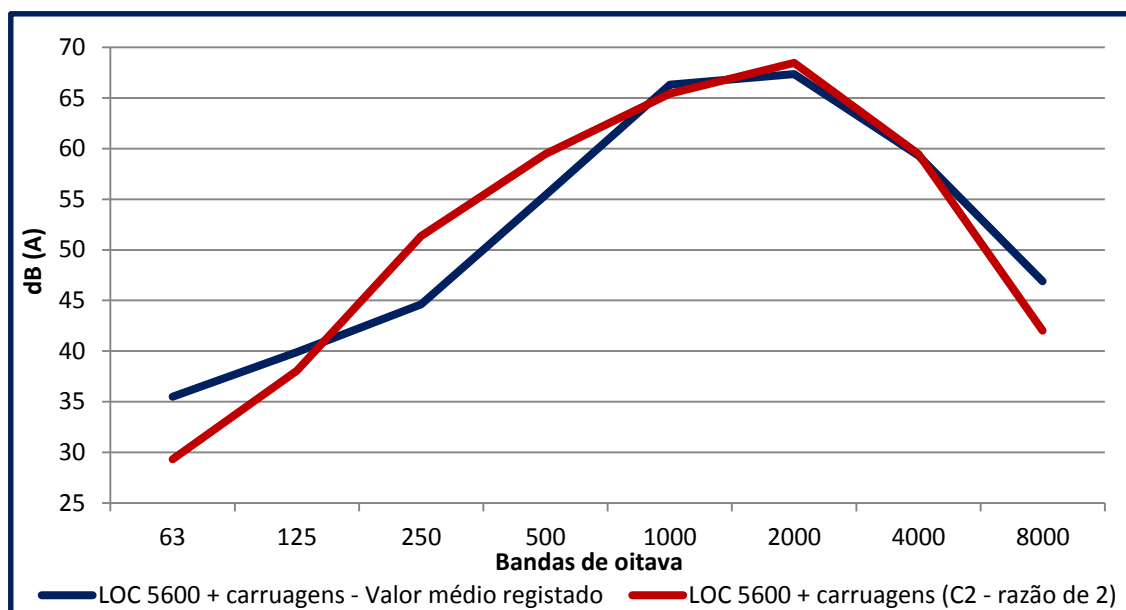


Figura 52 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pela locomotiva 5600 + 5 carruagens, com a C2 numa razão de 2.

Tabela 43 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições da locomotiva 5600 + carruagens e o previsto na C2 numa razão de 2.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A) – C2
67	68,8	- 2,2
94	70,8	- 0,2
101	69,9	- 1,1
109	71,5	+ 0,5
Média	70,4	- 0,6
C2 (razão de 2)	71,0	-----

#### 4.6.1.2 Regional UTE Série 2200

O transporte ferroviário regional UTE Série 2200 foi analisado no local 4. Como se pode ver numa análise à Figura 42 e Figura 51 não existe nenhum espectro de frequências que se ajuste ao espectro descrito pela passagem dos UTE Série 2200. No entanto, considerando o tipo de transporte e tipo de travões, a categoria 3 (comboios de passageiros com travões de discos) e categoria 8 (comboios interurbanos e comboios de baixa-velocidade com travões de discos) são as que mais se assemelham. Assim foi elaborada uma aproximação às referidas categorias, com resultados bastante positivos, como se pode ver na Figura 53. Foi encontrada uma muito boa relação com a categoria 3 numa razão de 1,5 em relação à passagem do material circulante, ou seja, a passagem de um comboio UTE Série 2200 corresponde à passagem de 1,5 unidades da categoria 3. Para além desta relação encontrada com a categoria 3, foi também encontrada uma outra relação com a categoria 8. Neste caso, a razão é de 3, ou seja, a passagem de um UTE Série 2200 corresponde à passagem de 3 unidades da categoria 8 da norma RMR 96/SMR II. A Tabela 44 mostra a diferença, em termos de  $L_{Aeq}$  1 hora, entre as medições efetuadas ao UTE

Série 2200 e o valor obtido na previsão com ambas as categorias, para as razões indicadas. Como se pode analisar, os desvios são bastante baixos, não ultrapassando 1 dB (A).

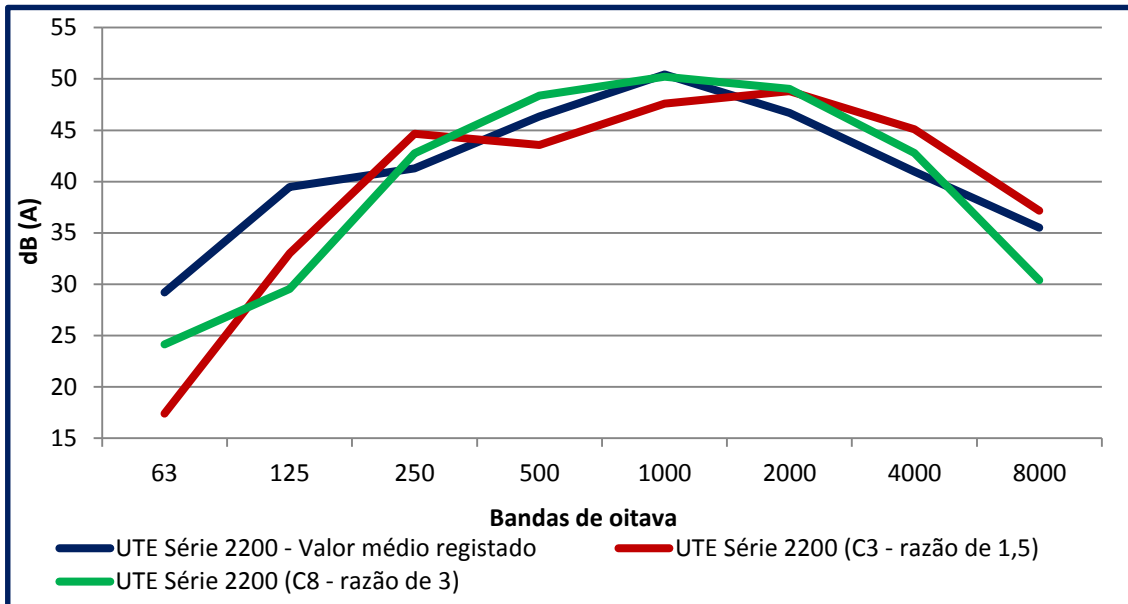


Figura 53 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UTE Série 2200, com a C8 numa razão de 3 e com a C3 numa razão de 1,5.

Tabela 44 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições das UTE Série 2200 e o previsto na C3 numa razão de 1,5 e com a C8 com uma razão de 3.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A) – C3	Diferença dB (A) – C8
69	54,4	+ 0.9	- 0.3
81	53,7	+ 0.2	- 1.0
87	54,2	+ 0.7	- 0.5
91	53,8	+ 0.3	- 0.9
93	54,0	+ 0.5	- 0.7
96	53,7	+ 0.2	- 1.0
105	52,9	- 0.6	- 1.8
Média	53,8	+ 0.3	- 0.9
C3 (razão de 1,5)	53,5	-----	-----
C8 (razão de 3)	54,7	-----	-----

#### 4.6.1.3 Urbano UQE Série 3400

O material circulante UQE Série 3400 foi analisado no local 3. O espectro de frequências, descrito pela passagem deste material circulante, apresenta semelhanças com o espectro descrito na categoria 3 e categoria 8 da RMR 96/SMR II, tal como se pode verificar na Figura 38 e Figura 51. Estas são também as categorias que, de acordo com o tipo de utilização e tipo de travões, mais se adequam ao UQE Série 3400. Foi elaborada uma aproximação às referidas categorias de modo a que os níveis de pressão sonora e do espectro de frequências fossem o mais semelhante possível ao medido no local. Encontrou-se uma boa relação entre as medições ao

UQE Série 3400 com as categorias 3 e 8 tal como se pode ver na Figura 54. A razão encontrada para a categoria 3 foi de 1, ou seja, a passagem de um comboio UQE Série 3400 corresponde à passagem de 1 unidade da categoria 3. No que diz respeito à categoria 8, a razão encontrada foi de 2, ou seja, a passagem do UQE Série 3400 corresponde à passagem de 2 unidades da categoria 8 da norma RMR 96/SMR II. A Tabela 45 mostra a diferença de  $L_{Aeq}$  1 hora entre as medições efetuadas e o valor obtido na previsão com ambas as categorias, para as razões indicadas. Como se pode constatar os desvios raramente ultrapassam os 2 dB (A), sendo em alguns casos inferiores a 1 dB (A).

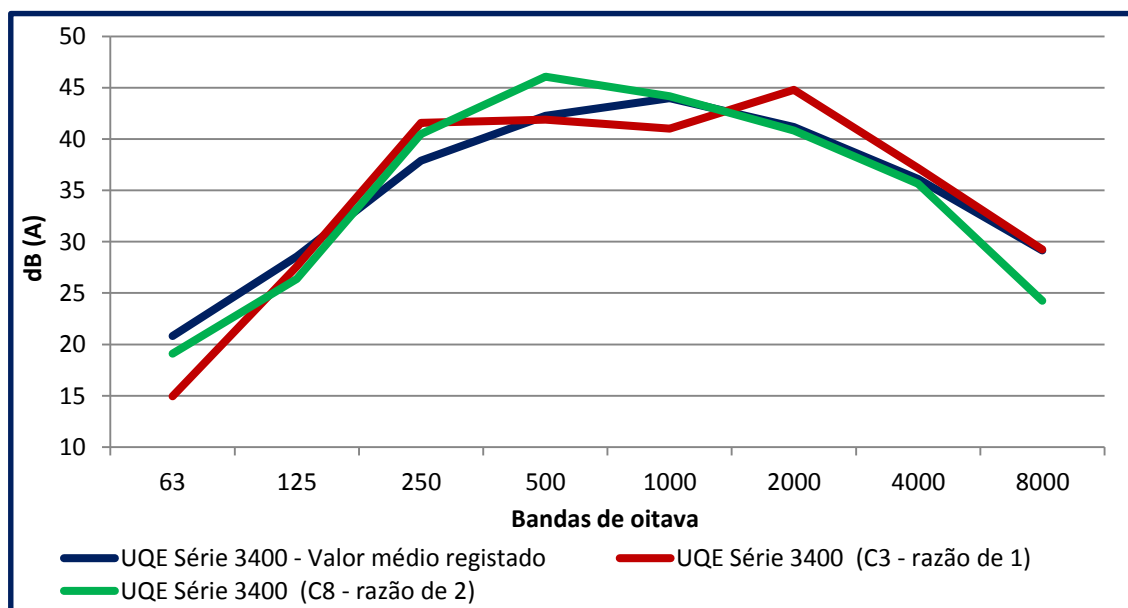


Figura 54 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 3400, com a C8 numa razão de 2 e com a C3 numa razão de 1.

Tabela 45 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições das UQE Série 3400 e o previsto na C3 numa razão de 1 e com a C8 numa razão de 2.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A) – C3	Diferença dB (A) – C8
32	48,7	- 0.3	- 1.0
37	47,7	- 1.3	- 2.0
41	48,4	- 0.6	- 1.3
47	47,6	- 1.4	- 2.1
63	48,9	- 0.1	- 0.8
Média	48,2	- 0.8	- 1.5
C3 (razão de 1)	49,0	-----	-----
C8 (razão de 2)	49,7	-----	-----

#### 4.6.1.4 Alfa Pendular Série 4000

O Alfa Pendular, transporte ferroviário de alta velocidade em Portugal, foi monitorizado no local 4. De acordo com a Figura 44 e a Figura 51 é possível verificar que a categoria que melhor se adequa a este material circulante é a categoria 9, que pertence, segundo a norma RMR 96/SMR II, aos comboios de alta velocidade. Esta categoria tem duas variantes, nomeadamente a

variante 9a, que corresponde às carruagens onde se encontra o motor e a variante 9b que corresponde às carruagens de transporte de passageiros. No caso do Alfa Pendular, este é constituído por um total de 6 carruagens, em que duas correspondem ao compartimento onde se encontra o motor e 4 carruagens de transporte de passageiros. A aproximação à categoria 9 da norma RMR 96/SMR II foi realizada tendo em conta estes aspetos particulares. Deste modo, encontrou-se uma relação satisfatória entre o valor médio obtido nas medições efetuadas com a categoria 9, tal como se pode ver na Figura 55. A razão encontrada foi de 1, ou seja, a passagem de um Alfa Pendular Série 4000 com 6 carruagens (em que 2 correspondem ao compartimento do motor e as restantes 4 correspondem ao transporte de passageiros) é semelhante, em termos de níveis de pressão sonora e de espectro de frequências, à passagem de 2 unidades da categoria 9a e 4 unidades da categoria 9b da RMR 96/SMR II. A Tabela 46 indica a diferença, em termos de  $L_{Aeq}$  1 hora, entre as medições efetuadas ao Alfa Pendular e o valor obtido através da previsão efetuada, na razão indicada. Como se pode verificar os desvios não são muito acentuados, situando-se próximos dos 2 dB (A).

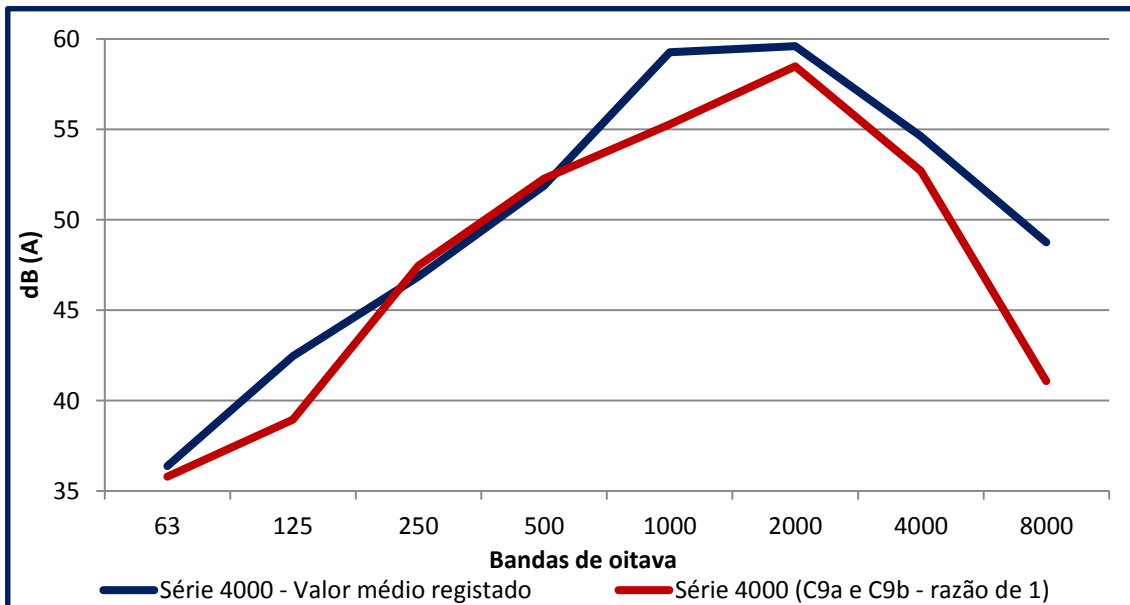


Figura 55 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo Série 4000, com a C9 numa razão de 1.

Tabela 46 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições do Alfa Pendular Série 4000 e o previsto na C9 numa razão de 1.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A) – C9
73	63,6	+ 1,8
79	63,7	+ 1,9
89	63,9	+ 2,1
Média	63,7	+ 1,9
C9 (razão de 1)	61,8	-----

#### 4.6.1.5 Série 2300/2400

O material circulante UQE Série 2300/2400 foi analisado no local 5. Como se pode ver na Figura 46, no que diz respeito ao espectro de frequências, este material circulante descreve uma variação semelhante à apresentada pela categoria 2 (ver Figura 51) da RMR 96/SMR II. Foi então elaborada uma aproximação do material circulante UQE Série 2300/2400 de modo a que os níveis de pressão sonora e o espectro de frequências obtidos através da previsão fossem o mais próximo possível dos obtidos nas medições efetuadas. Foi então encontrada uma razão de 16, ou seja, a passagem de um urbano UQE Série 2300/2400 corresponde à passagem de 16 unidades da categoria 2 da norma RMR 96/SMR II. Como se pode ver na Figura 56, de acordo com a razão indicada, existe uma boa concordância no que diz respeito ao espectro de frequências. A Tabela 47 mostra a diferença de  $L_{Aeq}$  1 hora, entre as medições efetuadas no local e o valor obtido no modelo de previsão para a categoria 2, de acordo com a razão indicada. Tal como se pode verificar os desvios são baixos, raramente chegando a 1 dB (A) de diferença.

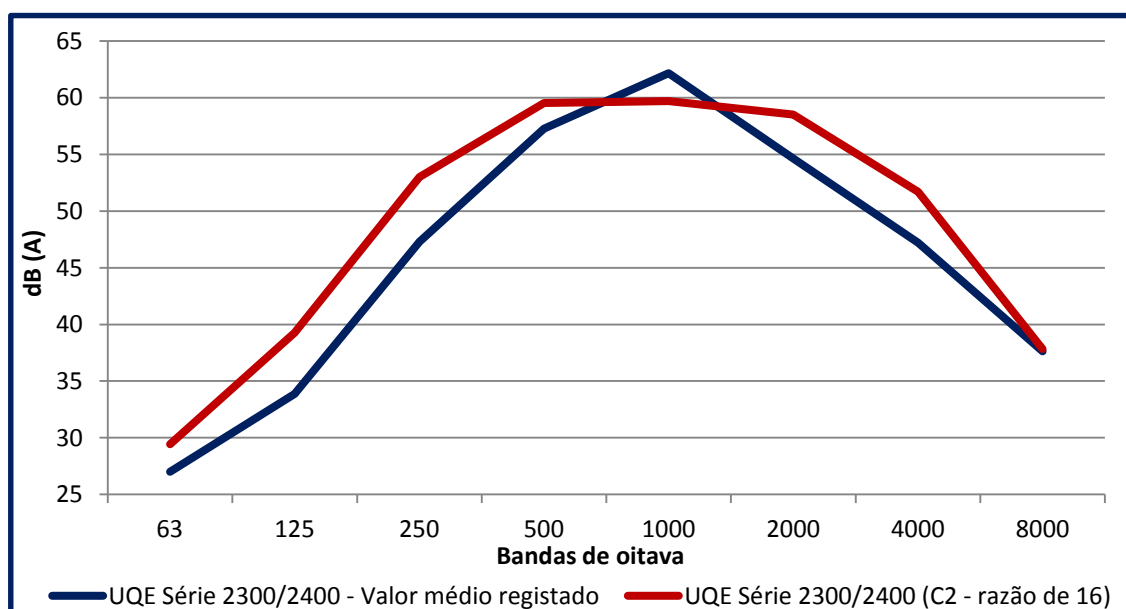


Figura 56 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 2300/2400, com a C2 numa razão de 16.

Tabela 47 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições das UQE Série 2300/2400 e o previsto na C2 numa razão de 16.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A)
113	63,8	- 0,8
116	63,6	- 1,0
118	64,7	+ 0,1
122	63,6	- 1,0
127	64,6	0,0
Média	64,1	- 0,5
C2 (razão de 16)	64,6	-----

4.6.1.6 UQE + UTE Série 3100/3200

O material circulante UTE + UQE da Série 3100/3200, foi analisado no local 6. O espectro de frequências, descrito pela passagem deste material circulante, não apresenta semelhanças relevantes com nenhuma das categorias descritas na RMR 96/SMR II tal como se pode verificar na Figura 48 e na Figura 51. Assim sendo, é feita uma comparação com a categoria 1, devido aos travões de cepos presentes nestes comboios. Após a escolha da categoria 1, foi elaborada uma aproximação à mesma, de modo a que os níveis de pressão sonora e de espectro de frequências fossem o mais semelhantes possível. Foi efetuada uma previsão com uma razão de 7, ou seja, compararam-se os níveis de pressão sonora medidos no local com 7 unidades da categoria 1 da RMR 96/SMR II. Apesar do espectro ser moderadamente diferente, tal como se pode ver na Figura 57, os níveis de pressão sonora globais obtidos foram próximos. Deste modo é possível concluir que a passagem de uma UQE+UTE Série 3100/3200 corresponde à passagem de 7 unidades da categoria 1 da norma RMR 96/SMR II. A Tabela 48 mostra um comparativo, em termos de níveis de pressão sonora, entre as medições efetuadas no local e o valor obtido através da modelação para a categoria 1, na razão indicada. É possível verificar que os desvios são sempre baixos, não superando os 0,5 dB (A).

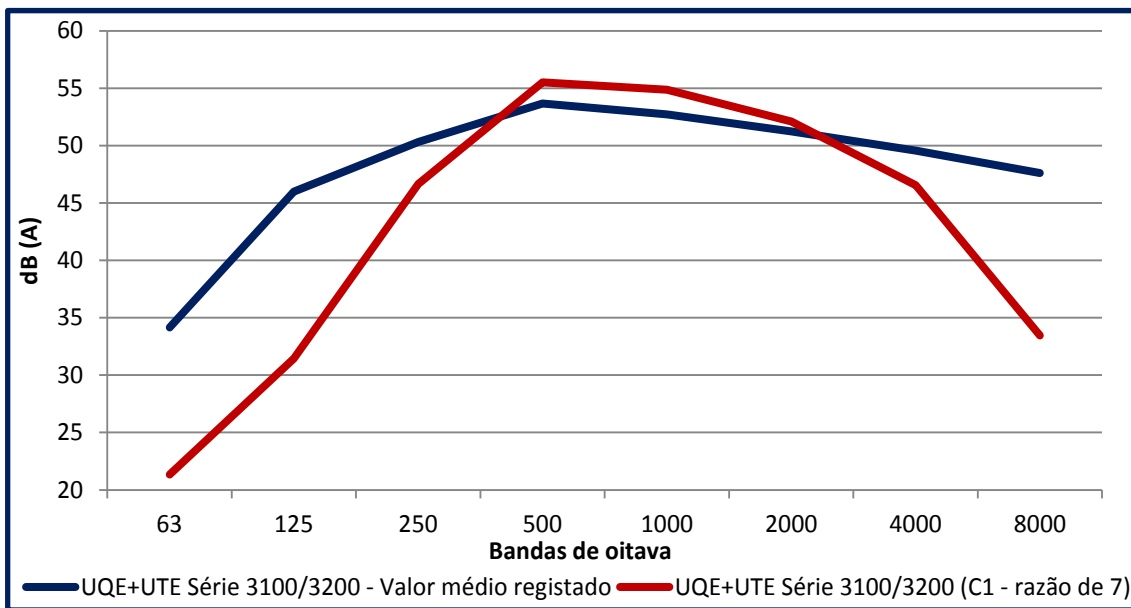


Figura 57 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE+UTE Série 3100/3200, com a C1 numa razão de 7.

**Tabela 48 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições das UQE + UTE Série 3100/3200 e o previsto na C1 numa razão de 7.**

<b>Nº medição</b>	<b><math>L_{Aeq}</math> 1 hora obtido dB (A)</b>	<b>Diferença dB (A)</b>
<b>134</b>	59,2	- 0,4
<b>136</b>	59,7	+ 0,1
<b>138</b>	59,3	- 0,3
<b>140</b>	59,3	- 0,3
<b>142</b>	59,2	- 0,4
<b>Média</b>	59,3	- 0,3
<b>C1 (razão de 7)</b>	59,6	-----

#### 4.6.1.7 UQE Série 3500

As UQE Série 3500 foram monitorizadas no local 7. Como se pode verificar através de uma análise à Figura 50 e à Figura 51 as categorias, de acordo com o espectro de frequências, que mais se assemelham aos espectros das medições efetuadas são a categoria 2 e a categoria 8. Estas são também as categorias que, de acordo o descrito na RMR 96/SMR II, mais se adequam ao presente material circulante. Após a escolha das categorias mais indicadas, foi elaborada uma aproximação de modo a que os níveis de pressão sonora e do espectro de frequências fossem o mais semelhante possível ao medido no local. Foi então encontrada uma relação entre as medições ao UQE Série 3500 com a categoria 2 e a categoria 8, tal como se pode ver na Figura 58. A razão encontrada para a categoria 2 foi de 0,35, ou seja, a passagem de um comboio UQE Série 3500 corresponde à passagem de 0,35 unidades da categoria 2. No que diz respeito à categoria 8, a razão encontrada foi de 1, ou seja, a passagem de um UQE Série 3500 corresponde à passagem de 1 unidade da categoria 8. A Tabela 49 mostra a diferença de  $L_{Aeq}$  1 hora entre as medições efetuadas e o valor obtido na previsão, com ambas as categorias, para as razões indicadas. É possível constatar que os desvios são baixos, situando-se maioritariamente abaixo de 1 dB (A) e raramente atingindo os 2 dB (A).

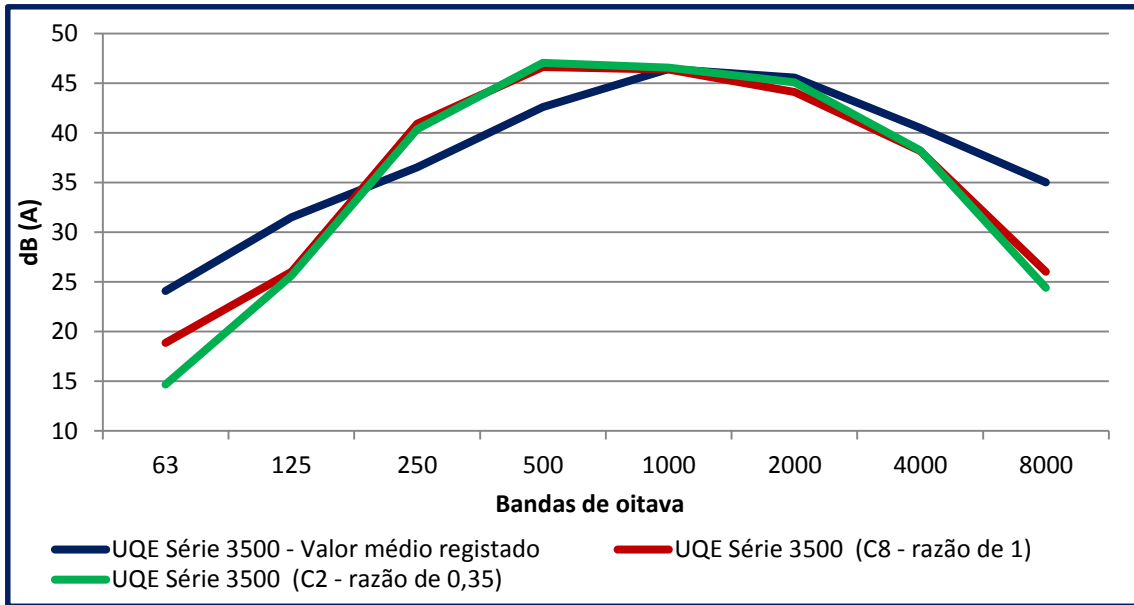


Figura 58 - Comparação, em termos de espectro de frequências, do valor médio registado pelo UQE Série 3500, com a C8 numa razão de 1 e com a C2 numa razão de 0,35.

Tabela 49 - Comparação entre o  $L_{Aeq}$  1 hora obtido nas medições das UQE Série 3500 e o previsto na C2 numa razão de 0,35 e com a C8 numa razão de 1.

Nº medição	$L_{Aeq}$ 1 hora obtido dB (A)	Diferença dB (A) – C2	Diferença dB (A) – C8
147	52,2	+ 0,5	+ 0.9
151	52,3	+ 0.6	+ 1.0
156	49,6	- 2.1	- 1.7
158	50,5	- 1.2	- 0.8
<b>Média</b>	51,3	- 0.4	0.0
<b>C2 (razão de 0,35)</b>	51,7	-----	-----
<b>C8 (razão de 1)</b>	51,3	-----	-----

A Tabela 50 resume as categorias, com a devida razão, a que pertencem os diversos tipos de material circulante a operar em Portugal, de acordo com o presente estudo. Na Tabela 51 estão referidas as proporções por um estudo já realizado anteriormente em Portugal.

No presente estudo, é possível verificar uma equivalência de 1:1 no que diz respeito ao Alfa Pendular com a categoria 9; a UQE 3400 com a categoria C3 e a UQE 3500 com a categoria C8. No que diz respeito às unidades UQE 2300/2400 e UQE + UTE 3100/3200 verificou-se a necessidade de um ajuste significativo de modo a que se obtivesse um valor adequando na modelação.

Tabela 50 - Equivalência entre o material circulante nacional e as categorias da norma RMR 96/SMR II, com a devida proporção.

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

Tabela 51 - Equivalência entre material circulante nacional e as categorias do modelo RMR 96/SMR II com respetivos fatores de correção (ALARCÃO, D., COELHO, J., 2008).

Material circulante	Unidades	Cat. SMR II	Fator unid. Material circulante/ unid. Cat. RMR 96/SMR II	Unidades da categoria RMR 96/SMR II por composição
UQE 3150/3250	4	C2	1,143	4,6
UQE 2X00+UQE2X00	8	C2	3,125	25
UQE 3500	4	C8	3,65	14,6
UTE 2200	3	C3	1	3
UDD 450	1	C5 (Diesel)	1	1
	1	C6	1	1
CPA 4000	2	C9 (railcar)	1	2
	4	C9 (carriage)	1	4
LOC 5600/2600	1	C3 (motor)	1	1
LOC 1930/1960	1	C5 (Diesel)	1	1
Carruagem Corail/Sorefame	1	C1	2,5	2,5
Vagão mercadorias	1	C4	1	1

### **Comparativo de velocidades**

Ao efetuar as medições, e como referido anteriormente, foram também retiradas as velocidades de circulação dos vários tipos de material circulante por forma a compará-las com as velocidades disponibilizadas pela REFER. Assim, na Tabela 22, Tabela 23, Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26, Tabela 27, Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 30 é possível analisar as diferenças entre as velocidades obtidas e as fornecidas pela REFER para cada um dos locais analisados.

No local 1 e no local 2 é possível identificar grandes disparidades no que diz respeito a este fator. O local 1 é um local onde todos os comboios circulam a velocidades um pouco abaixo dos 30 Km/h, possivelmente devido à sinalização existente no local. No entanto, segundo os dados fornecidos pela REFER, para o mesmo local, os comboios Intercidades circulam a cerca de 130 Km/h, enquanto que os Regionais UTE Série 2200 circulam a 110 Km/h.

No local 2 foram registadas velocidades de cerca de 90 Km/h tanto para os Intercidades como para os Regionais UTE Série 2200. No entanto, segundo os dados fornecidos pela REFER, as velocidades praticadas no local são de 160 Km/h no caso dos Intercidades e de 110 Km/h no caso dos Regionais UTE Série 2200. Novamente verifica-se um afastamento substancial no que diz respeito à velocidade medida e à velocidade fornecida, principalmente no caso do Intercidades.

No local 3, respeitante aos Urbanos UQE Série 3400, foram registadas velocidades de cerca de 70 Km/h, enquanto que a REFER, indica que o material circulante em causa circula, no ponto de medição a uma velocidade de 120 Km/h. A diferença situa-se em cerca de 50 Km/h em relação ao que foi medido manualmente.

No local 4, foram medidos Intercidades a viajar a velocidades compreendidas entre os 130 Km/h e 174 Km/h, ao passo que a REFER indica, no local, uma velocidade de circulação de 190 Km/h. No que diz respeito aos Regionais UTE Série 2200, foram registados a velocidades de circulação compreendidas entre 98 Km/h e 119 Km/h. Segundo a REFER, a velocidade de circulação dos referidos Regionais no local é de 107 Km/h. Por fim, ainda no que respeita ao local 4, os Alfa Pendulares Série 4000 circulavam a velocidades de cerca de 160 Km/h, enquanto que a REFER indica 220 Km/h, para o mesmo sentido. Novamente nota-se alguma diferença na comparação de velocidades, principalmente no que diz respeito aos Intercidades e Alfa Pendular.

No local 5, foram registados UQE Série 2300/2400 a velocidades compreendidas entre os 85 Km/h e os 96 Km/h. Segundo a REFER, no presente local a velocidade de circulação do referido material circulante é de 90 Km/h, verificando-se assim diferenças mínimas.

No local 6, o material circulante analisado foi medido a velocidades compreendidas entre os 60 Km/h e os 63 Km/h. No presente local a REFER indica velocidades, para o mesmo tipo de comboio, de 66 Km/h. Tal como no local 5 nota-se uma pequena diferença no que diz respeito à velocidade obtida em comparação pela fornecida pela REFER.

No que diz respeito ao local 7, as velocidades medidas no local para o UQE Série 3500 situaram-se entre os 80 Km/h e os 103 Km/h. A REFER indica, nas mesmas condições, velocidades de 114 Km/h. Neste local em algumas medições verifica-se já uma diferença moderada, por vezes acima de 20 Km/h.

Deste modo, no que diz respeito às velocidades de passagem dos comboios, e como se pode verificar, existe alguma diferença entre os valores recolhidos nos diferentes locais e os disponibilizados pela REFER. Sendo certo que nem sempre os comboios têm uma velocidade constante para um determinado local (devido a variadíssimos fatores) é possível reparar que as diferenças são em alguns casos bastantes significativas, tais como as verificadas no local 1 para Intercidades e Regional UTE Série 2200, local 2 para os Intercidades, local 3 para o UQE Série 3500, local 4 para os Alfa Pendular e Intercidades e local 7 para os UQE Série 3500. O erro na introdução das velocidades no modelo a utilizar aquando da realização de mapas estratégicos de ruído, que servirão de base à elaboração dos Planos de Ação, dará origem a propostas de medidas de minimização desadequadas à realidade.

É, no entanto, importante referir que, a velocidade real praticada, fornecida pela REFER para o presente estudo, diz respeito a velocidades que resultam de um cálculo associado ao horário programado. Este horário (designado por horário técnico) tem em conta os vários aspetos que influenciam a velocidade do comboio, tal como o peso, capacidade de aceleração, inclinação da via, entre outros. Esta velocidade, designada de velocidade calculada, é, no entanto, na maioria dos casos semelhante à velocidade verdadeira.

### 4.6.2 Comparação de sonómetros de diferentes classes

No que diz respeito à comparação dos dados entre um sonómetro de classe 1 e um sonómetro de classe 2, os objetivos foram alcançados. Foram realizadas 28 medições com ambos os sonómetros abrangendo vários tipos de material circulante, tais como Regionais (UTE Série 2200), Intercidades (Série 5600 + carruagens Corail/Sorefame), Alta velocidade (Alfa Pendular Série 4000), Urbanos (UQE Série 3400) e também transporte de mercadorias (neste caso específico foi analisada a Série 5600 + carruagens). As velocidades atingidas pelos diferentes tipos de material circulante analisado em cada passagem foi também bastante diversificado, ou seja, situaram-se entre os 30 Km/h e os 183 Km/h. O tempo de análise variou entre os 12 e os 72 segundos. Como é possível analisar na Tabela 31, somente 2 medições, do total de 28, é que a diferença de  $L_{Aeq}$  de passagem do material circulante, e posteriormente o  $L_{Aeq}$  de 1 hora para a mesma passagem, superou os 2 dB (A). As medições em causa foram as medições n.º 33 (Intercidades Série 5600 + carruagens) e n.º 36 (Alfa Pendular Série 4000), com diferenças de  $L_{Aeq}$  em relação ao sonómetro de classe 1, de 3,5 dB (A) e 2,3 dB (A) respetivamente. Nas restantes 26 medições a diferença entre o  $L_{Aeq}$  do S1 e o  $L_{Aeq}$  do S2 foi sempre inferior a 2 dB (A). É de destacar também que grande parte das medições efetuadas, a diferença em termos de  $L_{Aeq}$ , foi sempre moderadamente baixa, com 16 das 28 medições a terem uma diferença inferior a 1 dB (A) entre ambos os sonómetros, tal como se pode verificar pelas medições n.ºs 1, 2, 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 32, 94, 96, 99 e 100. No mesmo sentido, 10 das 28 medições tiveram diferenças, em  $L_{Aeq}$  1 hora, situadas entre o 1,0 dB (A) e 1,9 dB (A).

Como se pode também verificar, entre a Figura 64 e a Figura 91 e na Tabela 31, em todas as medições o  $L_{Aeq}$  1 hora do S1 foi sempre superior ao S2.

Através das medições realizadas, tendo em conta os valores obtidos e fazendo uma comparação entre eles, é possível verificar que o sonómetro TES 1352, de classe 2, apesar de ser menos complexo e sofisticado e apesar de ter especificações técnicas menos exigentes em termos de incerteza e tolerância que o Bruel & Kjaer 2260, fornece dados com bastante qualidade, podendo ser utilizado por exemplo em monitorizações de ruído quando por alguma razão a utilização de um sonómetro mais caro não é adequado.

#### **4.6.3 Caracterização das vibrações geradas por tráfego ferroviário circulante em Portugal**

No que diz respeito ao estudo das vibrações geradas pelo transporte ferroviário. Foram realizadas 51 medições de vibrações, abrangendo vários tipos de material circulante, tal como o serviço Regional (UTE Série 2200), serviço Intercidades (Série 5600 + carruagens Corail e Sorefame), serviço Urbano (UQE Série 3400) e transporte de Mercadorias (Série 4700/5600/6000 + carruagens). É de notar também a vasta escala de velocidades abrangida.

No local 2, o sismógrafo foi colocado a 8 metros da linha ferroviária, tal como indicado na norma ISO 14837-1:2005 (E). Como se pode verificar através de uma análise a Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34, o transporte de mercadorias foi o que obteve valores, em mm/s, mais elevados quando comparados com o Intercidades e com o serviço Regional. Este aspeto pode estar ligado ao facto de o transporte de mercadorias ter mais carruagens que o serviço Intercidades e Regional. Assim a medição 27 e medição 28 mostram uma resultante idêntica de 1,02 mm/s. No entanto apesar da resultante ser igual, a medição 27 tinha somente 13 carruagens enquanto que a medição 28 tinha 21 carruagens, ou seja, mais 8 carruagens. O facto de ter mais 8 carruagens mas ter o mesmo valor resultante, pode dever-se ao facto de a medição 27 ir carregada com mercadorias ao passo que na medição 28, as carruagens poderiam ir descarregadas, ou não carregadas na sua totalidade. Seguidamente ao transporte de mercadorias, o tipo de transporte que obteve maiores níveis de vibração foi o serviço Intercidades (com 1 locomotiva e 4 carruagens) com 0,95 mm/s e 0,89 mm/s nas medições 26 e 31 respetivamente. Por fim o serviço Regional (3 carruagens) foi o que obteve valores mais baixos no local 2, com uma resultante de 0,76 mm/s na medição 29. O fator ruído pode não ser diretamente proporcional às vibrações, dado que, como se pode ver, maiores níveis de vibrações não estão ligadas a maiores níveis de ruído. Este aspeto é comprovado pelos  $L_{Aeq}$  obtido do serviço Intercidades e do transporte de mercadorias. Apesar do serviço Intercidades ter maiores níveis de pressão sonora, o serviço de mercadorias obtém maiores níveis de vibrações.

No terceiro local de medição o sismógrafo foi colocado, tal como no segundo local, a 8 metros do eixo da linha ferroviária. Neste local, como se pode verificar na Tabela 35, Tabela 36, Tabela 37 e Tabela 38, foi no serviço Intercidades que se obteve uma maior resultante, nomeadamente de 2,35 mm/s na medição 44. Na outra medição com iguais características que a medição 44, ou seja, a medição 33, a resultante obtida foi de 1,27 mm/s. Mais uma vez se pode reparar que o fator ruído não é relevante no que toca ao nível de vibrações emitido, dado que a medição 44, apesar de ter uma maior resultante em termos de vibrações que a medição 33, tem um  $L_{Aeq}$  1 hora de 57,8 dB (A), ao passo que a medição 33 tem 60,1 dB (A). De referir ainda que as velocidades de ambas as medições foram idênticas. No sentido inverso, ou seja, no sentido Norte-Sul foi registada uma medição com uma resultante bastante inferior às anteriormente referidas, ou seja, foi obtida uma resultante de 0,32 mm/s, com uma velocidade semelhante às das medições 33 e 44.

No que diz respeito ao serviço Urbano presente no local (UQE Série 3400) a resultante obtida foi sempre moderadamente semelhante para todas as passagens do referido tipo de serviço. Assim, e para velocidades de certa forma semelhantes, o valor resultante foi sempre baixo e variou entre 0,38 mm/s e 0,57 mm/s. Em sentido contrário (Norte-Sul) aos anteriores registos, foi também registada uma medição com uma resultante de 0,32 mm/s, pouco mais de metade da máxima obtida no sentido Sul-Norte. No entanto há que destacar que a velocidade do material circulante era bastante inferior às que se registaram no sentido Sul-Norte. Quanto aos níveis de ruído estes foram bastante semelhantes nas medições Sul-Norte com as diferenças a atingirem o máximo de 2,1 dB (A) entre elas. No sentido Norte-Sul o valor de  $L_{Aeq}$  1 hora foi bastante mais baixo que as do sentido Sul-Norte algo que também se verificou ao nível das vibrações.

No transporte de mercadorias, e tal como se verificou com o serviço Regional e com o serviço Intercidades, as medições registadas no sentido Sul-Norte foram sempre mais elevadas que as registadas no sentido Norte-Sul. Assim em sentido Sul-Norte, foram registados níveis de vibrações de 1,97 mm/s e 1,27 mm/s das medições 40 e 59 respetivamente. Mais uma vez, e como se pôde constatar no local 2, o facto de existirem mais carruagens não significa propriamente que existam maiores níveis de vibrações, como se pode verificar pelo facto de na medição 40 a locomotiva ter acoplada a si 13 carruagens contra as 27 carruagens acopladas na locomotiva da medição 59. No sentido inverso, ou seja, no sentido Norte-Sul os níveis de vibrações obtidos foram de 0,57 mm/s na medição 48 (locomotiva + 25 carruagens); 0,7 mm/s na medição 43 (locomotiva + 9 carruagens); 0,51 mm/s na medição 55 (locomotiva + 16 carruagens); 0,64 mm/s na medição 58 (locomotiva + 17 carruagens). Mais uma vez é possível notar que mais carruagens não significa diretamente maiores níveis de vibrações. Quanto ao ruído, as medições 48 e 55 foram as que obtiveram maiores níveis de pressão sonora com 61,7 dB (A) e 63,5 dB (A) respetivamente.

Quanto ao Alfa Pendular, foram efetuadas 2 medições no sentido Norte-Sul e 3 medições no sentido Sul-Norte, sendo que foi novamente nas medições no sentido Sul-Norte em que os níveis de vibrações foram mais elevados. Assim, no sentido Norte-Sul, tanto a medição 51 como a

medição 61 registaram uma mesma resultante de 0,32 mm/s. No sentido Sul-Norte a medição 36 registou uma resultante de 0,57 enquanto que as medições 50 e 62 tiveram uma resultante de 0,51 mm/s. O maior destaque nos dados recolhidos reside no facto de as medições Sul-Norte terem níveis de vibração bastante superiores aos registados no sentido Norte-Sul. Por conseguinte é de destacar que tanto as velocidades, como os níveis de ruído, como os níveis de vibrações foram bastante semelhantes em todas as réplicas efetuadas, no presente serviço de transporte ferroviário.

Quando comparados estes valores com os obtidos no local 2 e possível reparar que, tirando a medição Norte-Sul do local 3, que os níveis de vibração verificados no local 3 são superiores ao local 2, algo que pode ser explicado pela maior velocidade de circulação ou pelo fato de na linha do Norte os comboios transportarem, de um modo geral, mais indivíduos que na linha da Beira Alta. No que diz respeito ao ruído, verifica-se que no local 2, apesar de haver menores níveis de vibrações, havia maiores níveis de ruído. No que toca ao transporte de mercadorias, existe uma situação semelhante, ou seja, as medições Norte-Sul do local 3 foram onde se registaram menores níveis de vibrações, enquanto que, numa comparação entre o local 2 e o sentido Sul-Norte do local 3, foi neste último onde se registaram maiores níveis de vibrações, algo que também poderá estar associado à maior velocidade praticada no local. No entanto, neste caso específico, os níveis de ruído foram também mais elevados no local 3, quando comparado com o local 2.

No presente local é de destacar que os níveis de vibrações foram sempre bastante superiores no sentido Sul-Norte para um dado tipo de material circulante. O fator carruagens assim como o fator  $L_{Aeq}$  1 hora, mostraram que não são diretamente proporcionais com o aumento dos níveis de vibrações. O serviço Intercidades registou a maior resultante de todas as medições no presente local. O transporte de mercadorias teve também níveis de vibração superiores elevados, superiores aos Urbanos, Alfa Pendular e, por vezes Intercidades. Posteriormente o serviço de Urbanos e Alfa Pendular, de um modo semelhante, foram os que causaram menos vibrações apesar de terem níveis de pressão sonora e número de carruagens bastante diferentes. O serviço Alfa Pendular (o mais rápido) acabou mesmo por ter algumas das resultantes mais baixas deste local, serviço este que é alvo de estudos de vibrações em todo o mundo devido às vibrações causadas pelas altas velocidades atingidas. No entanto é de realçar que o Alfa Pendular atinge uma máxima de 220 Km/h, uma velocidade bastante baixa quando comparada com velocidades atingidas em alguns serviços ferroviários europeus e mundiais, que operam acima de 300 Km/h.

No local 4, o sismógrafo foi colocado a 8 metros do eixo da linha ferroviária, contudo, por existirem duas linhas onde circulavam comboios, algumas medições foram feitas a 11,5 metros, nomeadamente na linha mais distante do sismógrafo. Como se pode verificar na Tabela 39, Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42, o material circulante analisado neste local correspondeu ao serviço Intercidades, Regional, Mercadorias e Alfa Pendular.

No que diz respeito ao serviço Intercidades todas as medições de vibrações foram efetuadas com estes a viajar no sentido Norte-Sul, sendo que a distância do sismógrafo ao eixo da linha ferroviária variou entre os 8 e os 11,5 metros. As duas maiores resultantes de todas as medições efetuadas neste local corresponderam ao serviço Intercidades, com a maior resultante a ser de 3,94 mm/s na medição 67, seguida da resultante de 3,37 mm/s obtida na medição 72. Com velocidades semelhantes, destaca-se o facto de a maior destas duas resultantes ter sido obtida a 11,5 metros do eixo da linha ferroviária, sendo que os níveis de ruído também foram superiores nesta medição. No entanto, quando comparada a medição 72 com a medição 86 (resultante de 1,65 mm/s) verifica-se o inverso, ou seja, a medição 72 tem maiores níveis de vibrações mas menores níveis de ruído.

No que diz respeito ao serviço Regional, este teve níveis de vibrações menores que o serviço Intercidades, com uma resultante máxima de 1,59 mm/s na medição 87 e uma resultante mínima de 0,83 na medição 88. Para este serviço de transporte é possível reparar que as medições efetuadas a 11,5 metros da linha ferroviária têm níveis de vibrações mais baixos que as medições efetuadas a 8 metros. Este aspeto deve-se ao facto de as vibrações perderem intensidade à medida que se afastam da sua origem e também devido a velocidade de passagem dos comboios Regionais, que era mais elevada na linha mais próxima do sismógrafo (8 metros). Note-se no entanto que, novamente as medições com maiores níveis de vibrações são que têm níveis de ruído mais baixos. O mesmo acontece com o inverso, ou seja, as medições com maiores níveis de ruído, são as que têm um índice de vibração mais baixo.

No que diz respeito ao transporte de mercadorias, estes circulam a velocidades menores que os demais, sendo que em ambos os sentidos e em ambas as linhas ferroviárias, as velocidades foram semelhantes. Deste modo, não é possível analisar com clareza que as resultantes obtidas a 8 metros foram superiores às resultantes obtidas a 11,5 metros. No entanto no serviço de mercadorias, dada a escassez de dados no que diz respeito ao facto de as carruagens irem lotadas ou não, este aspeto acaba por ser minimizado. A resultante obtida mais elevada foi registada a 11,5 metros do local, com 2,54 mm/s. No entanto a resultante mais baixa também foi obtida à mesma distância, com 1,52 mm/s. Novamente, tal como nos locais anteriores, acontece que, por vezes, transporte de mercadorias com poucas carruagens obtém níveis de vibração mais elevados que outros comboios com mais carruagens. Isto verifica-se no facto de, na medição 84, com 8 carruagens, obter níveis de vibração de 2,54 mm/s, superiores à medição 70 (14 carruagens), 83 (17 carruagens), 66 (11 carruagens) e 71 (22 carruagens). Este é um fator comum a grande parte das medições efetuadas para o transporte de mercadorias.

No que diz respeito ao serviço Alfa Pendular, novamente verifica-se que quanto menor a distância do sismógrafo à linha ferroviária, maiores os níveis de vibrações. Deste modo, grande parte das resultantes obtidas mais elevadas, foram obtidas com o sismógrafo a 8 metros da fonte de vibração. Foram efetuadas 4 medições a 8 metros de distância, com a maior resultante a ser de 2,1 mm/s na medição 89 e com uma velocidade do comboio de 163 Km/h; por outro lado a menor resultante a 8 metros foi de 1,21 mm/s na medição 64 e com o comboio a passar a uma

velocidade de 142 Km/h. No que diz respeito às medições a 11,5 metros, foram realizadas 3. A maior resultante obtida foi de 1,27 mm/s na medição 90 e com uma velocidade de passagem de 137 Km/h; por outro lado a menor resultante foi de 1,02 na medição 80 e com uma velocidade de passagem do comboio de 137 Km/h. É possível notar que, para além do fator distância, também se nota que o fator velocidade assume um papel importante, dado que as medições efetuadas a 8 metros tiveram geralmente maiores velocidades de passagem do material circulante e, como referido, maiores níveis de vibrações. Quanto ao fator ruído, notou-se mais uma vez que as medições com maiores níveis de ruído (medições efetuadas a 11,5 metros da fonte de vibração/ruído) são também as que têm menores níveis de vibrações.

Quando comparado com os restantes locais nota-se que o serviço Intercidades e o transporte de mercadorias são os que provocam maiores níveis de vibrações, sendo que, por outro lado o serviço Urbano e também o Alfa Pendular os que emitem menores níveis de vibrações. Nota-se também, de um modo geral, que os níveis de vibração obtidos no local 4, para um mesmo tipo de serviço, foram os mais elevados, quando comparado com os restantes locais.

## 5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

A realização do estágio curricular na empresa Monitar, Lda, assim como a elaboração do presente estudo, possibilitaram o aprofundar de conhecimentos e técnicas adquiridas ao longo do Mestrado de Tecnologias Ambientais. Deste modo, foram adquiridos conhecimentos técnicos no que concerne ao ruído proveniente do tráfego ferroviário, como também relativos a outras áreas da Engenharia do Ambiente.

No que diz respeito ao ruído ferroviário este é um tema pertinente, com impacto na sociedade e que requer atenção. As consequências adversas provocadas pela exposição ao ruído, aliado ao facto do ruído de tráfego ferroviário afetar um número considerável de indivíduos, faz com que seja de extrema importância a tomada de medidas que visem a redução do seu impacte.

No estudo de caracterização do ruído emitido por tráfego ferroviário, foi obtida uma equivalência entre o material circulante a atuar em Portugal e as categorias descritas na norma RMR 96/SMR II. É possível verificar que em alguns casos, o presente estudo vem fortalecer a veracidade do estudo já realizado anteriormente do Alarcão, D.; Coelho, J. (2001). No entanto, o presente estudo fornece também novas formas de abordagem no que diz respeito à modelação ferroviária utilizando a RMR 96/SMR II e a sua aplicação ao material circulante português. Isto deve-se ao facto de terem sido encontradas novas equivalências entre o material circulante português e as categorias da RMR96/SMR II.

O sonómetro de classe 2, TES 1352, apresentou resultados bastante satisfatórios quando comparado com o sonómetro de classe 1, Bruel & Kjaer 2260 Observer. Em 28 medições comparativas, somente em 2 é que a diferença superou os 2 dB (A), sendo que em 16 a diferença foi inferior a 1 dB (A). É possível concluir que, apesar de menos sofisticado e de ter menos especificações técnicas no que diz respeito à incerteza, este apresenta-se capaz de realizar medições onde só sejam necessários dados globais, ou onde seja necessária a troca de um sonómetro de classe 1 por um de classe 2, por exemplo, por razões de custo ou segurança, sem comprometer a qualidade das medições.

No que diz respeito à caracterização das vibrações geradas pelo tráfego ferroviário em Portugal não foram encontrados estudos acerca da sua caracterização. Este é um parâmetro ainda pouco explorado em Portugal, talvez devido ao facto de não haver transporte de alta velocidade no nosso país. O serviço Intercidades assim como o transporte de mercadorias apresentaram-se como os tipos de serviço que causam maiores níveis de vibrações. O tipo de solo, a velocidade do material circulante assim como o peso transportado por estes, apresentaram-se como parâmetros influentes no aumento dos níveis de vibrações, ao contrário dos níveis de pressão sonora e comprimento das composições.

Como desenvolvimentos futuros, estes poderiam passar pela realização de novas medições de tráfego ferroviário, de modo a que todo o tipo de material circulante a operar em Portugal fosse

abrangido, mas cujas medições fossem realizadas a várias velocidades para cada um dos diferentes tipos de comboios (p.e. Alfa Pendular com medições a 60 Km/h, 130 Km/h e 220 Km/h). Por forma a aprofundar conhecimentos, estas medições poderiam ser efetuadas em locais de travagem de comboios, tais como curvas e estações, assim como em linhas com outros tipos de características no que diz respeito aos dormentes, carris e balastro. Assim poder-se-ia atestar a qualidade da equivalência, em relação a norma RMR 96/SMR II, encontrada no presente estudo.

Considerando que o Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva Europeia 2002/49/CE, de 25 de Julho de 2002, refere que em alternativa à RMR 96/SMR II pode ser adaptado outro método (desde que seja demonstrada a obtenção de resultados equivalentes) poder-se-ia testar a qualidade de outros métodos, em relação ao material circulante português, fazendo uma comparação direta com a RMR 96/SMR II, por forma a analisar se se obteriam resultados mais fiáveis.

No que diz respeito às vibrações, a realização de um maior número de medições, em diferentes locais, abrangendo outros tipos de solos, outros tipos de material circulante, em edifícios localizados junto a ferrovias, seria importante por forma a obter-se mais conhecimento desta temática. A realização de inquéritos a indivíduos que habitem em locais juntos a ferrovias, por forma a tomar conhecimento do seu grau de incomodidade, seria também uma forma de ganhar conhecimentos no que diz respeito à incomodidade que as vibrações causadas por tráfego ferroviário causam nas populações.

## 6 Bibliografia

ALARCÃO, D.; COELHO, J. – Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário. Acústica. Coimbra.2008.

ALVES, G.K.A.; SINAY, M.C.F. – Os Dormentes Ferroviários, seu Tratamento e o Meio Ambiente. Instituto Militar de Engenharia. Mestrado em Engenharia dos transportes. Rio de Janeiro. 2005.

ANTUNES, S.M.; ROSÃO, V.; FALCÃO, A. Representatividade das medições em acústica Ambiental. Universidade de Coimbra. 2008.

ARUP, Department of Transport, Regional Rail Link – Noise and Vibration Assessment Section 1. 2010.

BABISCH, W. The Noise/Stress concept, risk assessment and research needs. Noise & Health. 2002.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA D. H. Guidelines for Community Noise. World Health Organization. 1999.

BIES, D.A.; HANSEN, C.H. Engineering Noise Control – Theory and Practice (Fourth Edition). England. 2009. ISBN: 0-203-87240-1.

BODIN, T.; ALBIN, M.; ARDÖ, J.; STROH, E.; ÖSTERRGREN, P.O.; BJÖRK, J. Road Traffic Noise and Hypertension: Results from a Cross-Sectional Public Health Survey in Southern Sweden. Environmental Health 2009.

BRONZATTI, G.D. – Avaliação do Ruído Causado pelo Transporte Ferroviário na Cidade de Ijuí/RS. Departamento de Tecnologia da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2009.

CABRAL, A.C.B. – Superestrutura Ferroviária. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Vitória. 2005.

COM (2008) 432 Final - Comunicação da comissão ao parlamento europeu e ao conselho - Medidas de redução do ruído ferroviário aplicáveis à frota existente. Bruxelas. 2008.

CP, Comboios de Portugal – Mapa dos Serviços [Em linha], 2014a [Consultado a 23 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.cp.pt/cp/displayPage.do?vgnextoid=b3cdd5abe2a74010VgnVCM1000007b01a8c0RCRD>>

CP, Comboios de Portugal – Frota actual Automotoras [Em linha], 2014b [Consultado a 24 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.cp.pt/cp/displayPage.do?vgnextoid=9b1dab3226ea4010VgnVCM1000007b01a8c0RCRD>>

CTA, Canadian Transportation Agency. Railway Noise Measurement and Reporting Methodology. Canada, Ottawa. 2011. ISBN 978-1-100-19249-9.

Declaração de Retificação n.º18/2007. D.R. Série I. 54 (16 de Março de 2007). 1628

Decreto-lei n.º 129/2002. D.R. Série I-A. 109 (11 de Maio de 2002). 4421-4428

Decreto-lei n.º 146/2006. D.R. Série I. 146 (31 de Julho de 2006). 5433-5441

Decreto-lei n.º 182/2006. D.R. Série I. 172 (6 de Setembro de 2006). 6584-6593

Decreto-lei n.º 221/2006. D.R. Série I. 215 (11 de Agosto de 2006). 7750-7779

Decreto-lei n.º 251/87. D.R. Série I. 142 (24 de Junho de 1987). 2386 - 2393

Decreto-lei n.º 116/92 D.R. Série I-A. 140 (20 de Junho de 1992). 2903-2905

Decreto-lei n.º 259/2002. D.R. Série I-A. 271 (23 de Novembro de 2002). 7368 - 7370

Decreto-lei n.º 278/2007. D.R. Série I. 147 (1 de Agosto de 2007). 4912-4913

Decreto-lei n.º 292/2000. D.R. Série I-A. 263 (14 de Novembro de 2000). 6511 – 6520

Decreto-lei n.º 292/89. D.R. Série I. 202 (2 de Setembro de 1989). 3770 – 3772

Decreto-lei n.º 293/2003. D.R. Série I-A. 268 (19 de Novembro de 2003). 7895 - 7899

Decreto-lei n.º 310/2002. D.R. Série I-A. 292 (18 de Dezembro de 2002). 7896 - 7903

Decreto-lei n.º 72/92. D.R. Série I-A. 98 (28 de Abril de 1992). 1955 - 1956

Decreto-lei n.º 76/2002. D.R. Série I-A. 72 (26 de Março de 2002). 2879 - 2910

Decreto-lei n.º 9/2007. D.R. Série I. 12 (17 de Janeiro de 2007). 389-398

Decreto-lei n.º 9/92. D.R. Série I-B. 98 (28 de Abril de 1992). 1961- 1971

Decreto-lei n.º 96/2008. D.R. Série I. 110 (9 de Junho de 2008). 3359-3372

Diretiva 2000/14/CE. Jornal das Comunidades Europeias L162 (3 de Julho de 2000) 1-78

Diretiva 2002/30/CE. Jornal das Comunidades Europeias L085 (28 de Março de 2002) 40-46

Diretiva 2002/49/CE. Jornal das Comunidades Europeias L189 (18 de Julho de 2002) 12- 26

Diretiva 2003/10/CEE. Jornal das Comunidades Europeias L042 (15 de Fevereiro de 2003) 38-44

Diretiva 2005/88/CE. Jornal das Comunidades Europeias L344 (14 de Dezembro de 2005). 44-46

Diretiva 86/188/CEE. Jornal das Comunidades Europeias L137 (24 de Maio de 1986) 28-34

Diretiva 95/27/CE. Jornal das Comunidades Europeias L168 (18 de Julho de 1995) 14-17

DISTEFANO, A.; FUSCO, G.; GARGANI, F.; LICCIARDELLO, R.; LUPI, C.; MASCELLARO, R.; RICCI, S.; TIERI, A. Impact Assessment Study on Rail Noise Abatement Measures Addressing the Existing Fleets. 2007.

EEA, European Environment Agency. Transport at a Crossroads: Indicators Tracking Transport and Environment in the European Union. Copenhagen. 2009. ISBN 978-92-9167-991-1.

EPA, Environmental Protection Authority. Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure. 2013. ISBN 978-1-921495-38-0.

ESVELD, C. Modern Railway Track Second Edition. The Netherlands. 2001. ISBN: 90-800324-3-3.

EUROPEAN COMMISSION. Working Group Railway Noise of the European Commission – Position Paper on the European Strategies and Priorities for Railway Noise Abatement. Luxembourg. 2003. ISBN 92-894-6055-5.

FRITSCHI, L.; BROWN, L.A.; KIM, R; SCHWELA, D.; KEPHALOPOULOS, S. - WHO Regional Office for - Burden of Disease from Environmental Noise. 2011. ISBN 978 92 890 0229 5.

ICER RAIL. Composite Brake Blocks [Em linha], 2013 [Consultado a 25 de Julho de 2014]. Disponível em WWW: <URL: [http://www.icer-rail.com/composite\\_brake\\_blocks.html](http://www.icer-rail.com/composite_brake_blocks.html)>.

IEC, International Standard 61672-1: Electroacoustics – Sound level meters. Madrid. 2002.

IMT, Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. – O IMT [Em linha], 2012 [Consultado a 8 de Março de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/IMTT/Paginas/IMTT-Missao.aspx>>

INSTITUTO DO AMBIENTE – Ruído e a Cidade [Em linha] 2004 [Consult. 7 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/DAR/Ruido/o\\_rudo\\_e\\_a\\_cidade.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf)>

ISO, International Standard 3095: Railway applications – Acoustics – Measurement of noise

emitted by railbound vehicles. 2005.

ISO, International Standard 14837-1: Mechanical vibration – Ground borne noise and vibration arising from rail systems. 2005.

KAEWUNRUEN, S.; REMENNIKOV, A.M. Dynamic Properties of Railway Track and its Components: a State-of-the-art review. Faculty of Engineering and Information Sciences, University of Wolongong. Australia. 2008.

LEEUWEN, H.J.A. Railway Noise Prediction Models - A Comparison. The Netherlands. 2000.

MILLER, H. M.; HANSON, I. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. Federal Railroad Administration, Washington, D.C. 2005.

NOISE, Noise Observations And Information Service For Europe [Em linha], 2014 [Consultado a 25 de Fevereiro de 2014] Disponível em WWW: <URL: <http://noise.eionet.europa.eu/viewer.html>>.

NSW, Department of Environment & Climate Change. Interim Guideline for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure Projects. 2007. ISBN 978 1 74122 414 6.

NSW, Rail Infrastructure Noise Guideline. 2012. ISBN: 978 1 74293 296 5.

OERTLI, J.; HUBNER, P. International Union of Railways (UIC) – Railway Noise in Europe: a 2010 Report on the State of the Art. Paris. 2010. ISBN 978-2-7461-1880-5.

PARKER, A.; WEBER, C. – Rail dampers – The First Australian Field Trial. Proceedings of 20<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Sydney. 2010.

REFER, Rede Ferroviária Nacional – Mapa Estratégico de Ruído das Grandes Infra-Estruturas de Transporte Ferroviário. 2008.

REFER, Rede Ferroviária Portuguesa – Objeto [Em linha], 2010 [Consultado a 24 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/AEmpresa/Objeto.aspx>>

REFER, Rede Ferroviária Portuguesa – Mapa da Rede [Em linha], 2012a [Consultado a 17 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.refer.pt/MenuPrincipal/REFER/GestaodaRede/MapadaRede.aspx>>.

REFER, Rede Ferroviária Portuguesa – Caracterização da Infra-estrutura [Em linha], 2012b [Consultado a 17 de Fevereiro de 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.refer.pt/LinkClick.aspx?fileticket=ekfqizNEv4Y%3d&tabid=130>>

REFER, Rede Ferroviária Nacional – Directório da Rede 2015. 2013.

REITER, M.; KOSTEK, B. Comparing Railway Noise Prediction Results for Passenger Trains Using Various Models. Gdansk University of Technology. Multimedia Systems Department. Poland. 2008.

SILENCE, Silence Final Training Conference. Reduction of rolling noise: Field tests in Silence. Bergisch Gladbach. 2008.

STANSFELD, S.A.; MATHESON, M.P. Noise Pollution: Non-Auditory Effects on Health. British Medical Bulletin [Em linha], 2003 [Consultado a 12 de Fevereiro 201]. Disponível em WWW: <URL: [http://bmb.oxfordjournals.org/cgi/collection/environment\\_and\\_disease?page=2](http://bmb.oxfordjournals.org/cgi/collection/environment_and_disease?page=2)>

STEFFENS, D.M. Identification and Development of a Model of Railway Track Dynamic Behaviour. Queensland University of Technology. 2005.

SZALMA, J.L.; HANCOCK, P.A. Noise Effects on Human Performance: A Meta-Analytic Synthesis. Psychological Bulletin. 2011.

SZWARC, M.; KOSTEK, B.; KOTUS, J.; SZCZODRAK, M.; CZYZEWSKI, A. Problems of Railway Noise – A Case Study. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. Volume 17. 2011.

THOMPSON, D. Understanding and Controlling Noise and Vibration from Railways. Institute of Sound and Vibration Research. University of Southampton. 2009.

TORBJÖRN, Å.; BABISCH, W.; BEAUMONT, J.; [Et al.] WHO Regional Office for - Night Noise Guidelines for Europe. 2009. ISBN 978 92 890 4173 7.

UIC, The Environmental Noise Directive – UIC Noise Network/UIC Action Programme Noise Reduction Freight Traffic. Paris. 2008.

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



## **7 Anexos**

**Anexo I** – Características da rede ferroviária nacional.

**Anexo II** – Locais de medição.

**Anexo III** – Cópia do boletim de verificação do sonómetro.

**Anexo IV** – Cópia do certificado de calibração do sismógrafo.

**Anexo V** – Gráficos comparativos entre ambos os sonómetros.

**Anexo VI** – Gráficos com a resultante obtida das medições das vibrações.



## **Anexo I – Características da rede ferroviária nacional.**





Figura 59 - Mapa ferroviário português para os diferentes tipos de serviços (REFER, 2013).

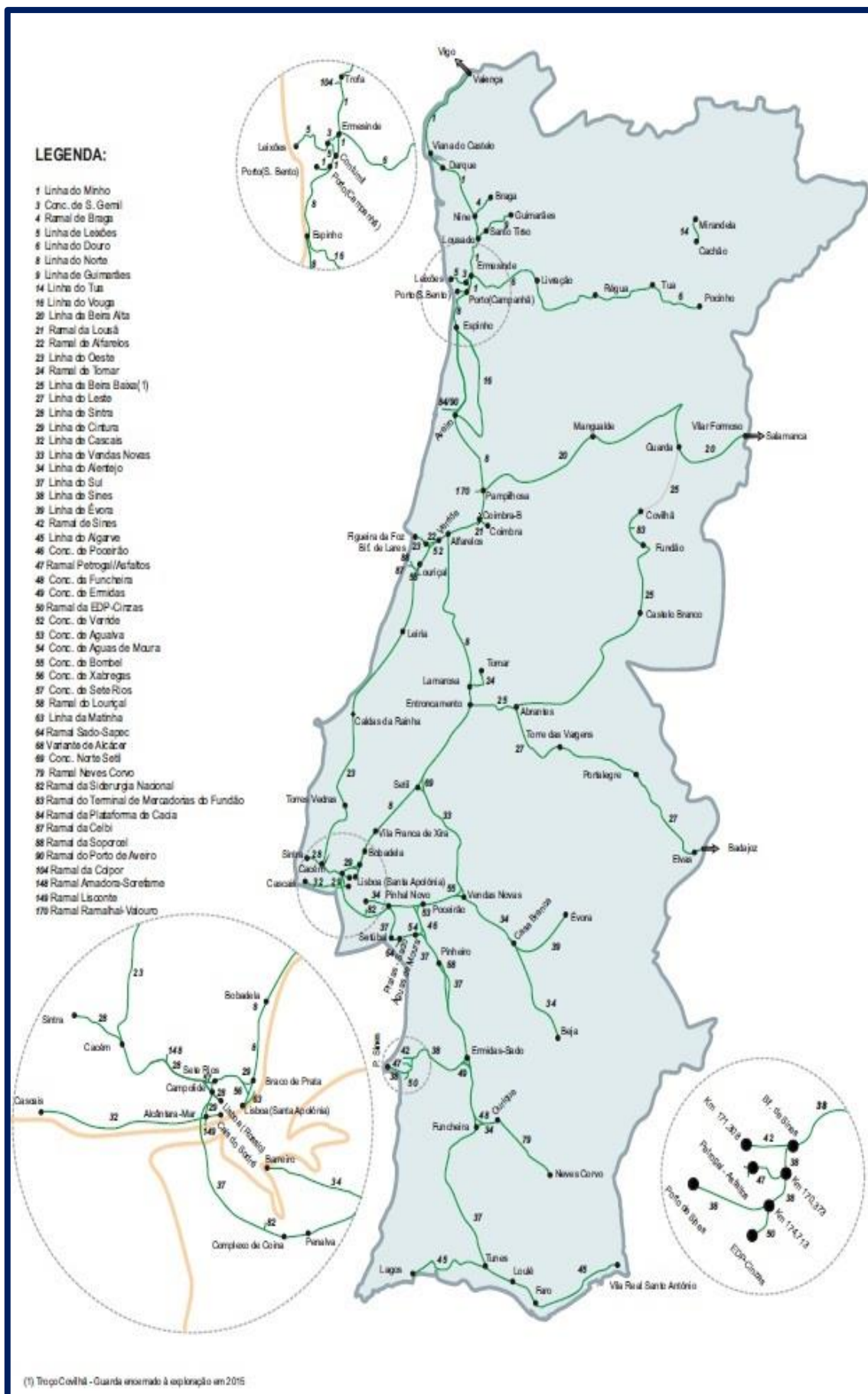


Figura 60 - Mapa ferroviário português de acordo com as diferentes linhas e ramais (REFER, 2013).



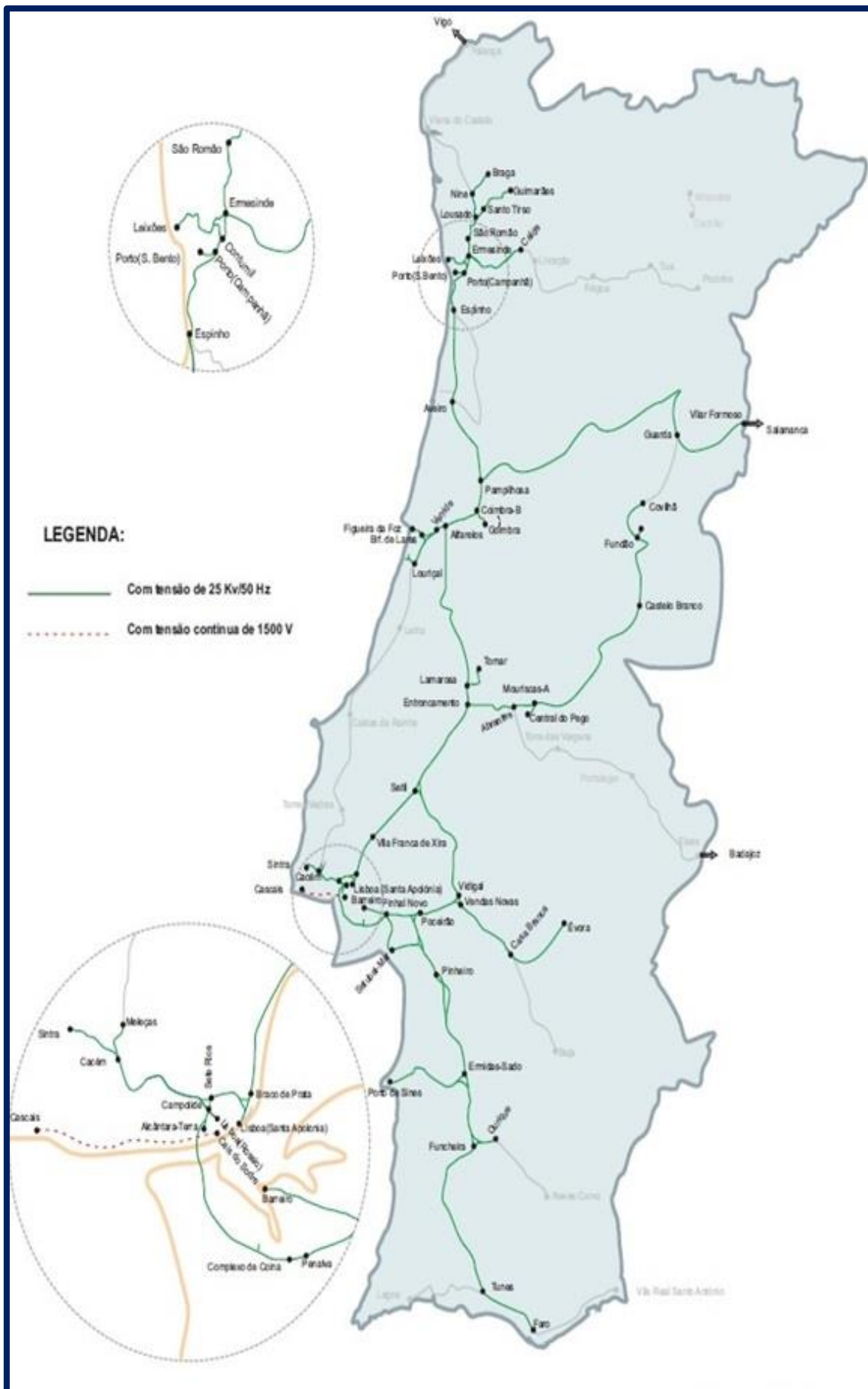


Figura 62 - Mapa ferroviário português de acordo com o tipo de eletrificação (REFER, 2013).

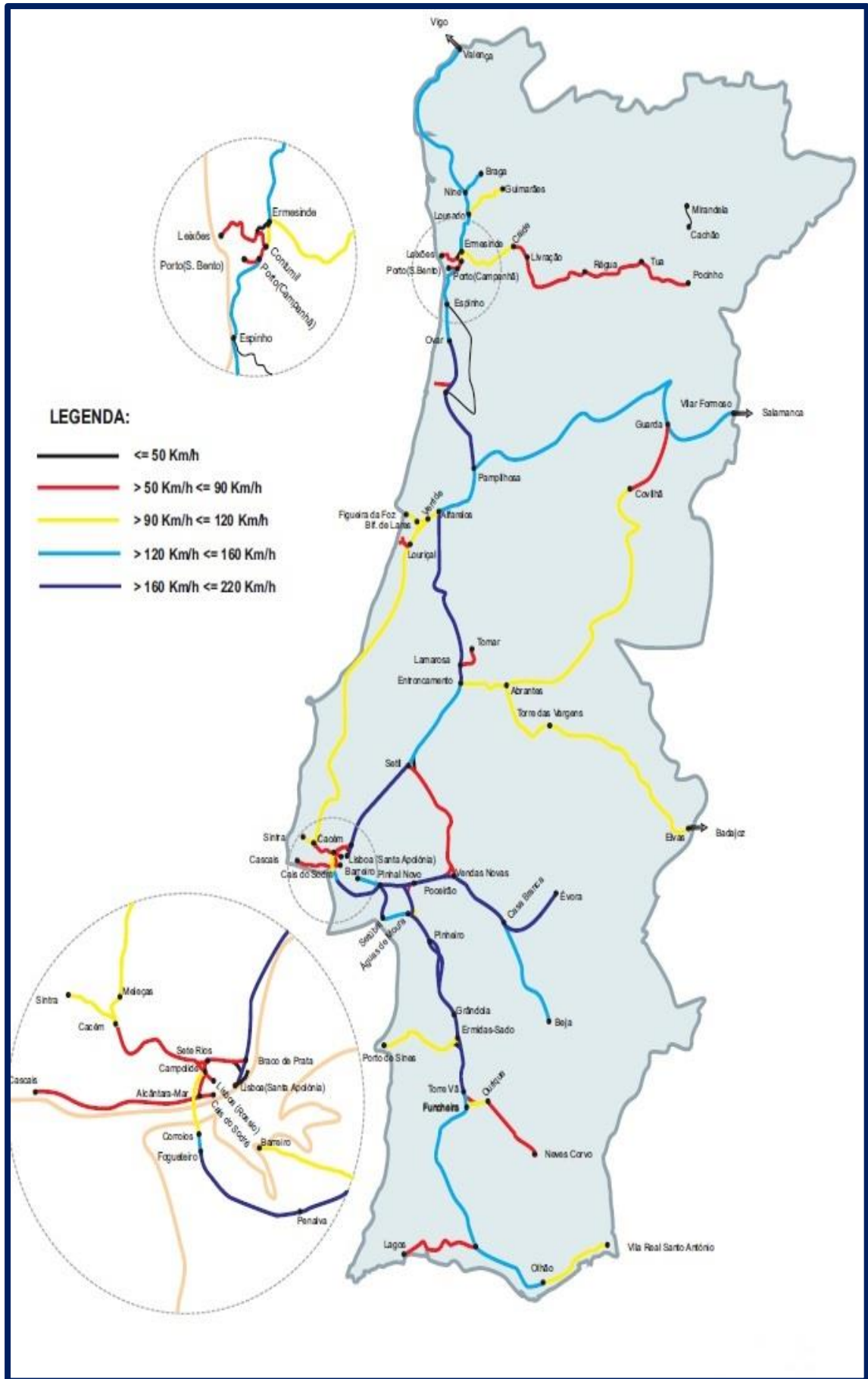


Figura 63 - Mapa ferroviário português de acordo com os perfis de velocidade (REFER, 2013).



## **Anexo II – Locais de medição.**

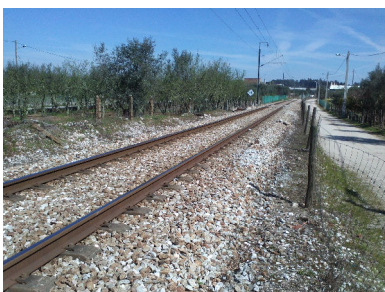




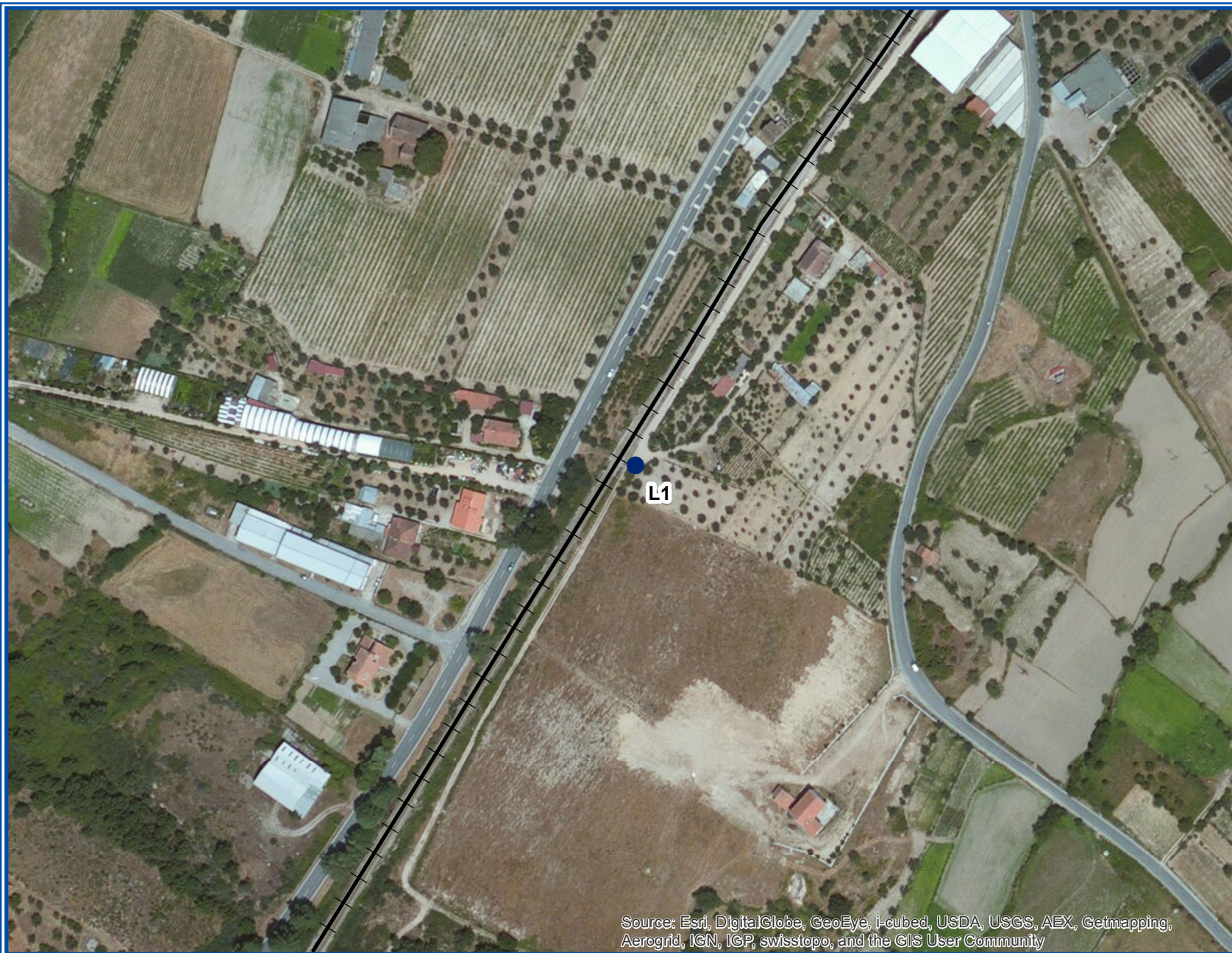
Local de medição 1 - Foto 1



Local de medição 1 - Foto 2



Local de medição 1 - Foto 3



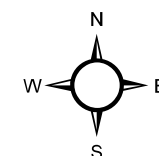
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L1
- +— Linha ferroviária

ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
Daniel Gonçalves  
DATA: Julho de 2014  
CARTA N.º 1



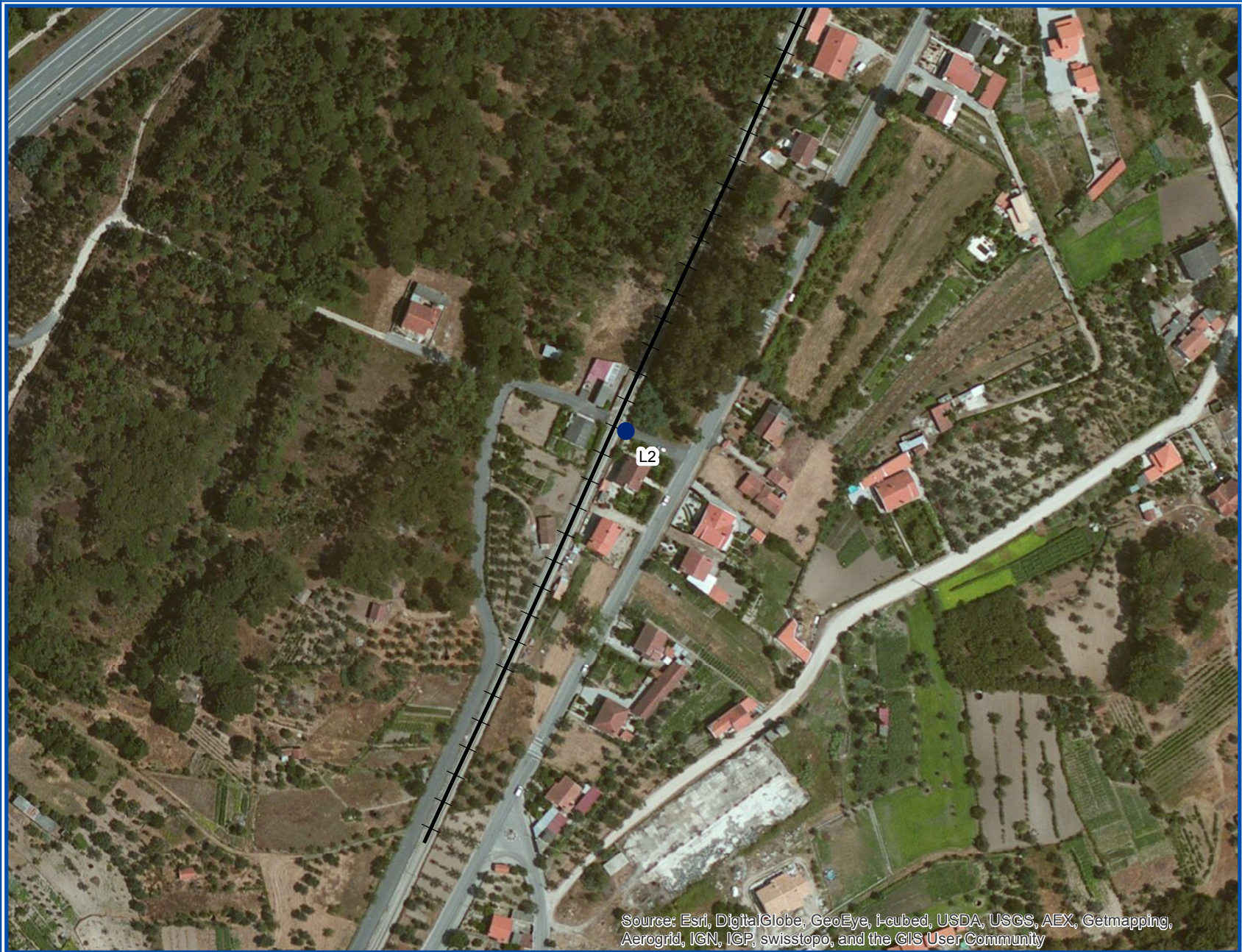
Local de medição 2 - Foto 1



Local de medição 2 - Foto 2



Local de medição 2 - Foto 3



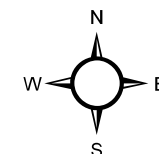
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L2
- +— Linha ferroviária

ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
Daniel Gonçalves  
DATA: Julho de 2014  
CARTA N.º 2



Local de medição 3 - Foto 1



Local de medição 3 - Foto 2



Local de medição 3 - Foto 3



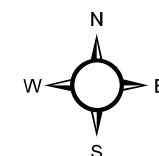
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L3
- +— Linha ferroviária

ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
Daniel Gonçalves  
DATA: Julho de 2014  
CARTA N.º 3



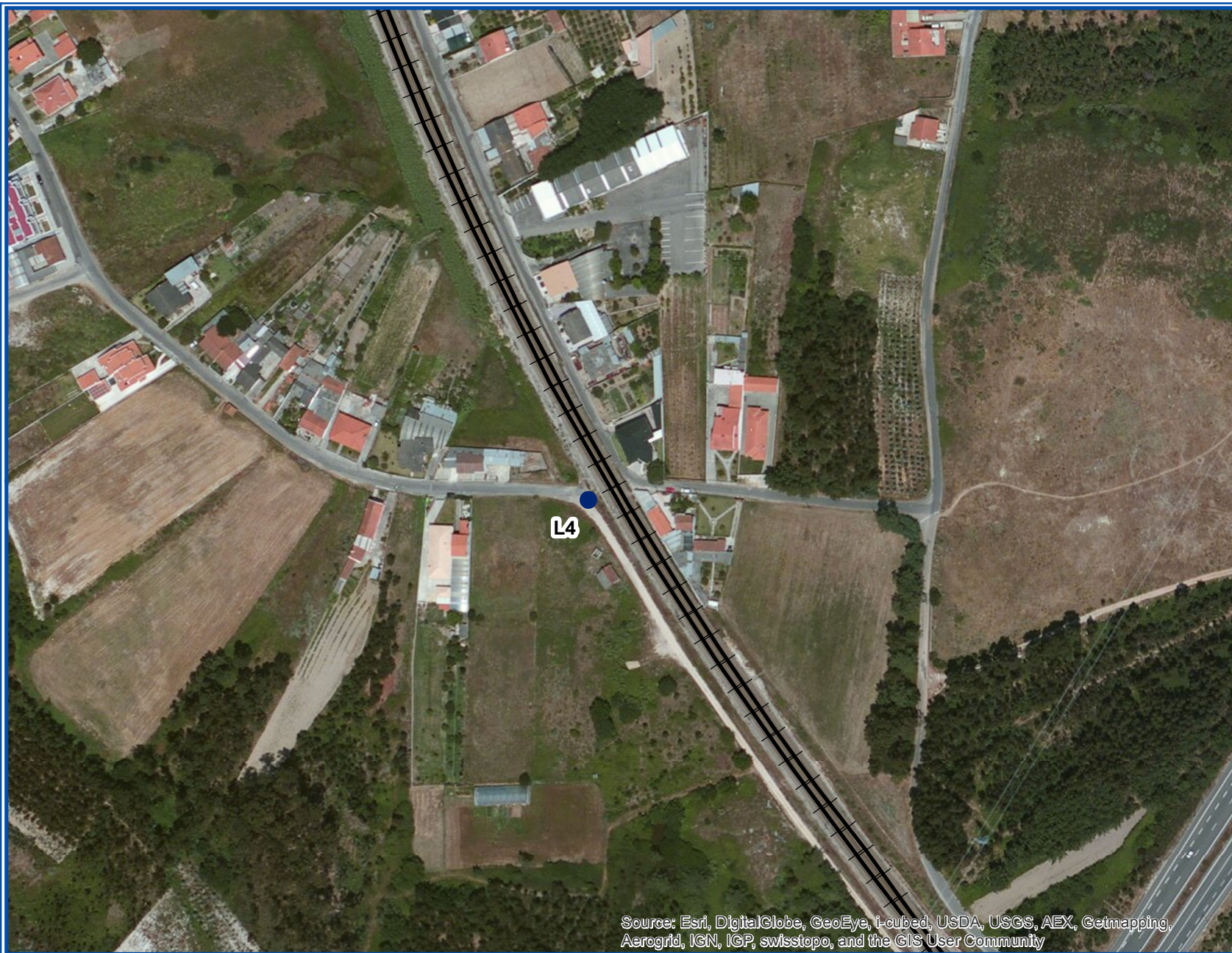
Local de medição 4 - Foto 1



Local de medição 4 - Foto 2



Local de medição 4 - Foto 3



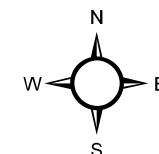
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L4
- +— Linha ferroviária

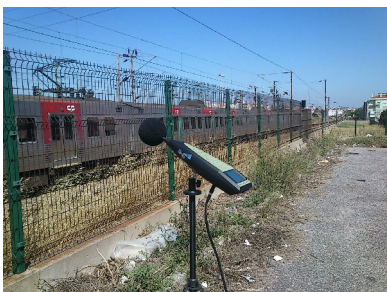
ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
Daniel Gonçalves  
DATA: Julho de 2014  
CARTA N.º 4



Local de medição 5 - Foto 1



Local de medição 5 - Foto 2



Local de medição 5 - Foto 3



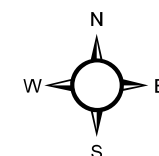
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L5
- +— Linha ferroviária

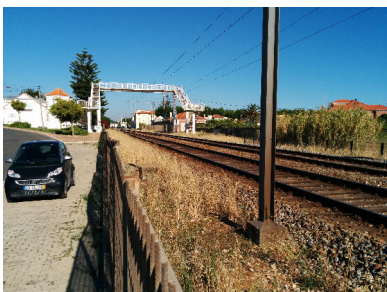
ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
Daniel Gonçalves  
DATA: Julho de 2014  
CARTA N.º 5



Local de medição 6 - Foto 1



Local de medição 6 - Foto 2



Local de medição 6 - Foto 3

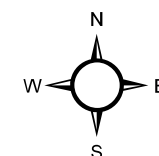


Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
 Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
 Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material circulante em Portugal  
 Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L6
- +— Linha ferroviária

ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
 Daniel Gonçalves  
 DATA: Julho de 2014  
 CARTA N.º 6



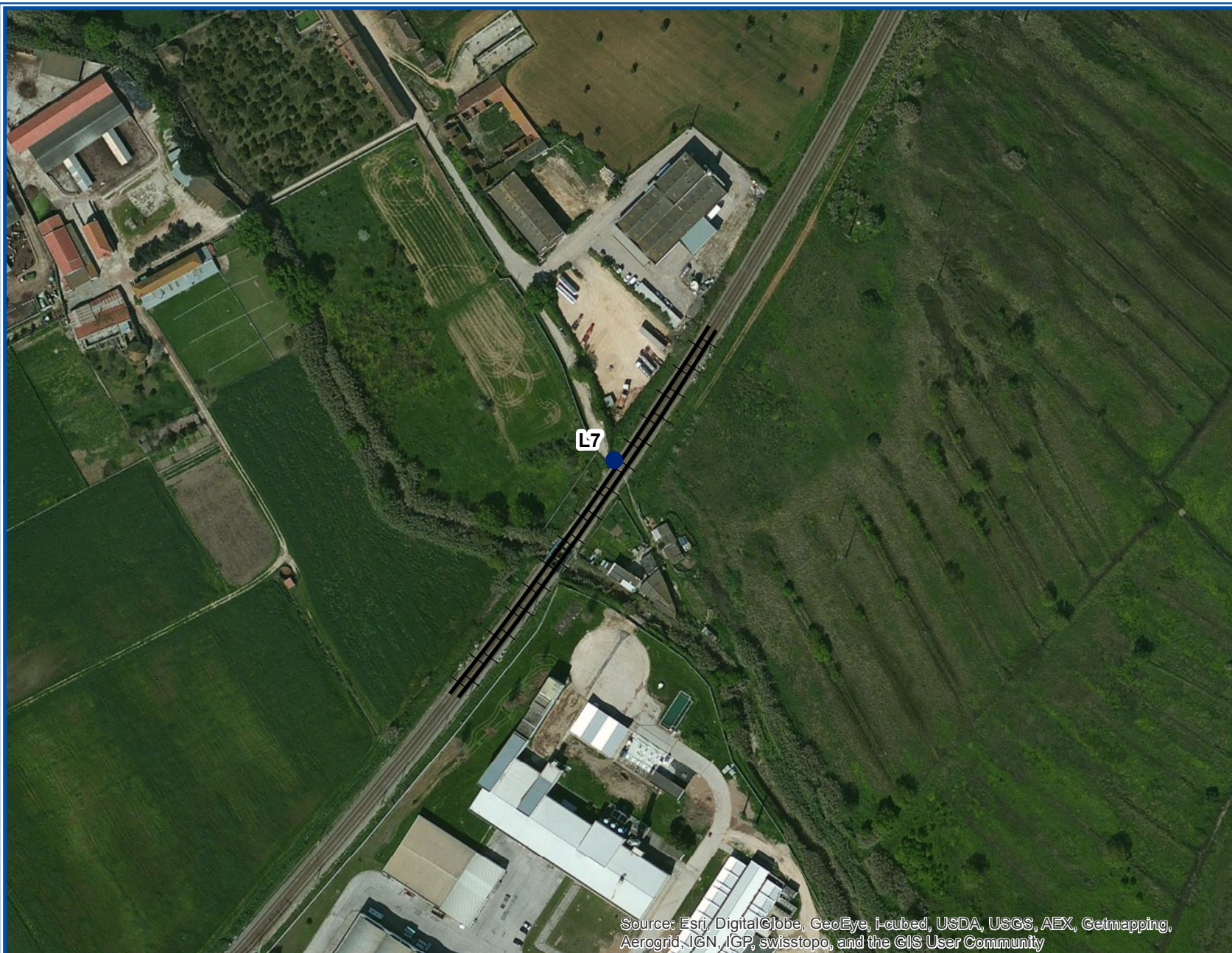
Local de medição 7 - Foto 1



Local de medição 7 - Foto 2



Local de medição 7 - Foto 3

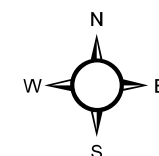


Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
 Tese de Mestrado em Tecnologias Ambientais  
 Título - Modelação de ruído de tráfego ferroviário - Caracterização do material  
 circulante em Portugal  
 Aluno: Daniel Gonçalves; Orientador: Paulo de Pinho

**Legenda:**

- Ponto de medição - L7
- Linha ferroviária

ESCALA: 1:2.500



ELABORADO POR:  
 Daniel Gonçalves  
 DATA: Julho de 2014  
 CARTA N.º 7



**Anexo III – Cópia do boletim de verificação do sonómetro.**





# BOLETIM DE VERIFICAÇÃO

NÚMERO 245.70 / 11.641

PÁGINA 1 de 2

## ENTIDADE:

Nome	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
Endereço	Departamento de Ambiente - Campus Politécnico - 3504-510 Viseu

## INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO:

Desp. Aprov. Modelo n.º	245.70.98.3.19	
Sonómetro	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / 2260 / 2124555
Microfone	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / 4189 / 2695800
Pré-amplificador	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / ZC 0026 / 2399
Calibrador	Marca / Modelo / N.º de série	Brüel & Kjær / 4231 / 2524620

## CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS:

Classe	1
--------	---

## OPERAÇÃO EFECTUADA:

Tipo / Data	Verificação Periódica / 25/10/2011
Rastreabilidade	Tensão contínua e alternada - Lab. Metrol. Eléct. ISQ (Portugal) Frequência - IPQ (Portugal) Nível de pressão sonora - Danak (Dinamarca)
Documentos de referência	Portaria 977/09 de 1 de Setembro de 2009 Proc. Interno PO.M-DM/ACUS 01 tendo por base os documentos de referência Norma IEC 61672-3.
Condições ambientais	Temp.: 23,3 °C Hum. Rel.: 51,0 % Pressão atmosf.: 98,7 kPa
RESULTADO	<b>Em conformidade com os valores regulamentares</b> <b>O Valor do erro de cada uma das medições efectuadas são inferiores aos valores dos erros máximos admissíveis para a classe do equipamento de medição</b>

Local / Data

Oeiras, 25 de Outubro de 2011

Verificado por

Luís Silva

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

O presente Boletim de Verificação só pode ser reproduzido no seu todo e apenas se refere ao(s) item(s) ensaiado(s).  
O equipamento é selado como consta no Despacho de aprovação de modelo respectivo.  
A operação de controlo metrológico efectuada é evidenciada apenas pela aposição no instrumento do símbolo respectivo como consta dos anexos da Portaria n.º 962/90 de 9 de Setembro

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.



## BOLETIM DE VERIFICAÇÃO - cont.

NÚMERO 245.70 / 11.641

PÁGINA 2 de 2

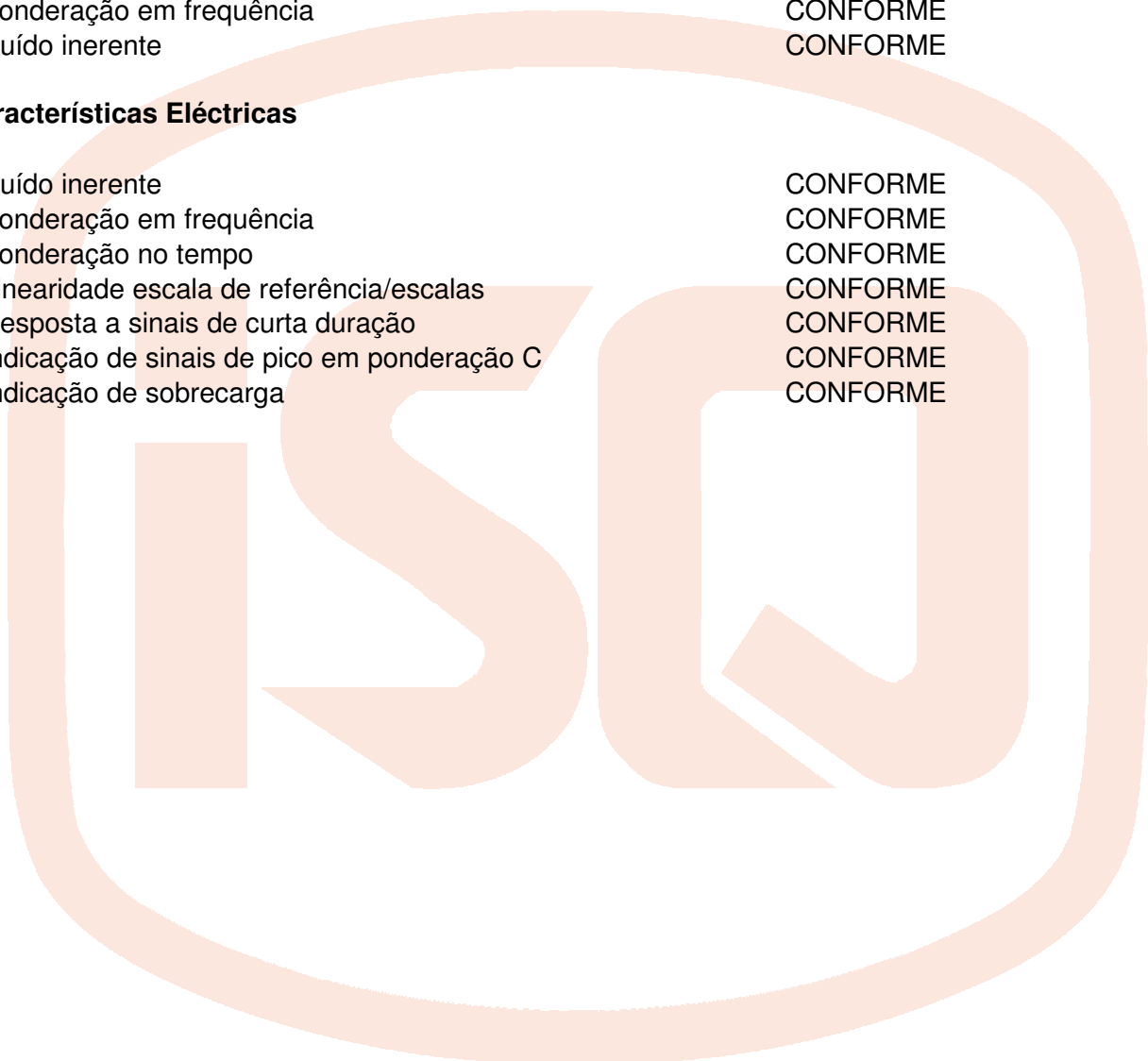
### Características Acústicas

Calibrador acústico	CONFORME
Condições de referência	CONFORME
Ponderação em frequência	CONFORME
Ruído inerente	CONFORME

### Características Eléctricas

Ruído inerente	CONFORME
Ponderação em frequência	CONFORME
Ponderação no tempo	CONFORME
Linearidade escala de referência/escalas	CONFORME
Resposta a sinais de curta duração	CONFORME
Indicação de sinais de pico em ponderação C	CONFORME
Indicação de sobrecarga	CONFORME

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.



DM/065.2/07



# CARTA DE CONTROLO METROLÓGICO

Data de emissão: 25 / 10 / 2011

Página 1 de 2

## EQUIPAMENTO

Tipo: Sonómetro Integrador  
 Marca: Brüel & Kjær Despacho de aprovação de modelo nº: 245.70.98.3.19  
 Modelo: 2260  
 Nº Série: 2124555 Classe de exactidão atribuída: 1

## ENTIDADE UTILIZADORA

**Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu**  
 Departamento de Ambiente  
 Campus Politécnico  
 3504-510 Viseu

## FABRICANTE / IMPORTADOR

Brüel & Kjær Ibérica - Sucursal em Portugal, Lda.

## OPERAÇÃO EFECTUADA

Data	ANO: 2003	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
14 / 05 / 2003	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 10820/03	CONFORME
Data	ANO: 2004	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
08 / 06 / 2004	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 16582/04	CONFORME
Data	ANO: 2005	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
12 / 07 / 2005	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 245.70 / 05.371	CONFORME

## OBSERVAÇÕES

Esta Carta de Controlo Metrológico dá seguimento à anterior emitida pela entidade Laboratório Nacional de Engenharia Civil, onde consta que a última Verificação Metrológica foi realizada em 13/11/2000. 08/06/2004. Considerada 1ª. Verificação após alteração de microfone. 06/11/2008. Esta Carta de Controlo Metrológico em formato digital, substitui a anterior emitida em 08/06/2004. 06/11/2008. Considerada 1ª. Verificação após alteração de microfone. 25/10/2010.

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

DM/065.2/07



# CARTA DE CONTROLO METROLÓGICO ( CONTINUAÇÃO )

Página 2 de 2

## OPERAÇÃO EFECTUADA

Data	ANO: 2006	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
13 / 07 / 2006	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 245.70 / 06.387	CONFORME
Data	ANO: 2007	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
19 / 07 / 2007	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 245.70 / 07.432	CONFORME
Data	ANO: 2008	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
06 / 11 / 2008	<input checked="" type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 60804; IEC 60651	Boletim nº 245.70 / 08.677	CONFORME
Data	ANO: 2009	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	<b>Não foi sujeito a Verificação Metrológica anual conforme Portaria nº 1069/89</b>		
Data	ANO: 2010	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
25 / 10 / 2010	<input checked="" type="checkbox"/> 1ª Verificação <input type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 61672-3	Boletim nº 245.70 / 10.740	CONFORME
Data	ANO: 2011	Documentos de referência	Documentos de registo	Resultado
25 / 10 / 2011	<input type="checkbox"/> 1ª Verificação <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Periódica <input type="checkbox"/> Verificação Extraordinária <input type="checkbox"/> Banco de filtros <input type="checkbox"/> Tempo de reverberação	IEC 61672-3	Boletim nº 245.70 / 11.641	CONFORME

Este documento não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

DM/065.2/07

**Anexo IV – Cópia do certificado de calibração do sismógrafo.**





Instalações  
de Oeiras



**IPAC**  
acreditação

M0059  
Calibração

Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

# Certificado de calibração

Data de Emissão: 2012-08-06

Certificado nº. CACV897/12

Página 1 de 3

## Equipamento

### SISMÓGRAFO

#### Unidade de Leitura

Marca: GEOSONICS  
Modelo: SSU 3000EZ+

Nº de série: **8821/4166**  
Nº de ident.: ---

#### Geofone

Marca: ---  
Modelo: ---

Nº de série: **8821**  
Nº de ident.: ---

#### Microfone

Marca: ---  
Modelo: ---

Nº de série: **8821**  
Nº de ident.: ---

## Cliente

### MONITAR, Lda.

Edifício Santa Eulália, nº 52 - Loja Z  
3500-691 Viseu

## Data de Calibração

2012-08-06

## Condições Ambientais

Temperatura: 24,3 °C Humidade relativa: 48 %HR Pressão atmosférica: 100,1 kPa

## Procedimento

PO.M-DM/VIB 01 (Ed. C); PO.M-DM/ACUS 01 (Ed. D).

## Rastreabilidade

Sensibilidade de Vibração, Acelerómetro padrão PCB 301A11 rastreado ao PTB (Alemanha).  
Tensão alternada, Fluke 5790A, Fluke A40 / A40A, rastreado à Fluke, Kassel (Deutschland - DKD).  
Tempo e Frequência, Hewlett Packard 58503A, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (IPQ), Portugal.  
Nível de pressão sonora, Brüel & Kjær, Nærum (Denmark).

## Estado do equipamento

Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.

## Resultados

Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo.  
A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão  $k=2$ , o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

Calibrado por

Emídio Santos

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)



IPAC  
accreditação

M0059  
Calibração

Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

# Certificado de calibração

nº. CACV897/12

Página 2 de 3

## Resposta em amplitude

Canal	Frequência	Valor de referência	Valor esperado	Valor do equipamento	Erro	Incerteza expandida
L	40 Hz	0,75 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	3,00 mm/s	2,98 mm/s	-0,02 mm/s	± 0,07 mm/s
	40 Hz	1,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	6,00 mm/s	5,91 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,11 mm/s
	40 Hz	2,26 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	9,00 mm/s	8,83 mm/s	-0,17 mm/s	± 0,16 mm/s
	40 Hz	2,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	10,00 mm/s	9,84 mm/s	-0,16 mm/s	± 0,18 mm/s
	40 Hz	2,76 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	11,00 mm/s	10,80 mm/s	-0,20 mm/s	± 0,20 mm/s
	40 Hz	3,77 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	15,00 mm/s	14,73 mm/s	-0,27 mm/s	± 0,27 mm/s
	40 Hz	5,03 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	20,00 mm/s	19,62 mm/s	-0,38 mm/s	± 0,35 mm/s
	40 Hz	7,54 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	30,00 mm/s	29,34 mm/s	-0,66 mm/s	± 0,53 mm/s
	40 Hz	15,08 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	60,00 mm/s	58,74 mm/s	-1,26 mm/s	± 1,0 mm/s
T	40 Hz	0,75 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	3,00 mm/s	2,98 mm/s	-0,02 mm/s	± 0,07 mm/s
	40 Hz	1,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	6,00 mm/s	5,91 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,11 mm/s
	40 Hz	2,26 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	9,00 mm/s	8,83 mm/s	-0,17 mm/s	± 0,16 mm/s
	40 Hz	2,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	10,00 mm/s	9,84 mm/s	-0,16 mm/s	± 0,18 mm/s
	40 Hz	2,76 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	11,00 mm/s	10,80 mm/s	-0,20 mm/s	± 0,20 mm/s
	40 Hz	3,77 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	15,00 mm/s	14,73 mm/s	-0,27 mm/s	± 0,27 mm/s
	40 Hz	5,03 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	20,00 mm/s	19,62 mm/s	-0,38 mm/s	± 0,35 mm/s
	40 Hz	7,54 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	30,00 mm/s	29,34 mm/s	-0,66 mm/s	± 0,53 mm/s
	40 Hz	15,08 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	60,00 mm/s	58,74 mm/s	-1,26 mm/s	± 1,0 mm/s
V	40 Hz	0,75 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	3,00 mm/s	2,98 mm/s	-0,02 mm/s	± 0,07 mm/s
	40 Hz	1,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	6,00 mm/s	5,91 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,11 mm/s
	40 Hz	2,26 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	9,00 mm/s	8,76 mm/s	-0,24 mm/s	± 0,16 mm/s
	40 Hz	2,51 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	10,00 mm/s	9,72 mm/s	-0,28 mm/s	± 0,18 mm/s
	40 Hz	2,76 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	11,00 mm/s	10,73 mm/s	-0,27 mm/s	± 0,20 mm/s
	40 Hz	3,77 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	15,00 mm/s	14,54 mm/s	-0,46 mm/s	± 0,27 mm/s
	40 Hz	5,03 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	20,00 mm/s	19,37 mm/s	-0,63 mm/s	± 0,35 mm/s
	40 Hz	7,54 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	30,00 mm/s	28,96 mm/s	-1,04 mm/s	± 0,53 mm/s
	40 Hz	15,08 m/s <sup>2</sup> <sub>pk</sub>	60,00 mm/s	57,85 mm/s	-2,15 mm/s	± 1,0 mm/s

Calibrado por

Emídio Santos

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

# Certificado de calibração

nº. CACV897/12

Página 3 de 3

## Resposta em frequência

Canal	Frequência	Valor de referência	Valor esperado	Valor do equipamento	Erro	Incerteza expandida
L	10 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	22,51 mm/s	22,48 mm/s	-0,03 mm/s	± 0,40 mm/s
	16 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	14,07 mm/s	13,97 mm/s	-0,10 mm/s	± 0,25 mm/s
	32 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	7,03 mm/s	6,99 mm/s	-0,04 mm/s	± 0,13 mm/s
	64 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	3,52 mm/s	3,49 mm/s	-0,03 mm/s	± 0,08 mm/s
	100 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	2,25 mm/s	2,16 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,06 mm/s
T	10 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	22,51 mm/s	22,73 mm/s	0,22 mm/s	± 0,40 mm/s
	16 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	14,07 mm/s	14,10 mm/s	0,03 mm/s	± 0,25 mm/s
	32 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	7,03 mm/s	6,99 mm/s	-0,04 mm/s	± 0,13 mm/s
	64 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	3,52 mm/s	3,49 mm/s	-0,03 mm/s	± 0,08 mm/s
	100 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	2,25 mm/s	2,16 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,06 mm/s
V	10 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	22,51 mm/s	22,54 mm/s	0,03 mm/s	± 0,40 mm/s
	16 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	14,07 mm/s	14,03 mm/s	-0,04 mm/s	± 0,25 mm/s
	32 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	7,03 mm/s	6,92 mm/s	-0,11 mm/s	± 0,13 mm/s
	64 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	3,52 mm/s	3,37 mm/s	-0,15 mm/s	± 0,08 mm/s
	100 Hz	1,00 m/s <sup>2</sup>	2,25 mm/s	2,16 mm/s	-0,09 mm/s	± 0,06 mm/s

## Medição acústica

Valor de referência	Leitura no equipamento	Erro	Incerteza
94,0 dB/1kHz	94,0 dB	0,0 dB	± 0,4 dB
114,0 dB/1kHz	113,0 dB	-1,0 dB	± 0,4 dB
123,9 dB/250Hz	123,0 dB	-0,9 dB	± 0,4 dB

NOTA: Velocidade (mm/s) = Aceleração (m/s<sup>2</sup>) / ( 2 \* PI \* f (Hz) ) \* 1000

Calibrado por

Emídio Santos

Responsável pela Validação

Luís Ferreira (Responsável Técnico)



**Anexo V – Gráficos comparativos entre ambos os sonómetros.**



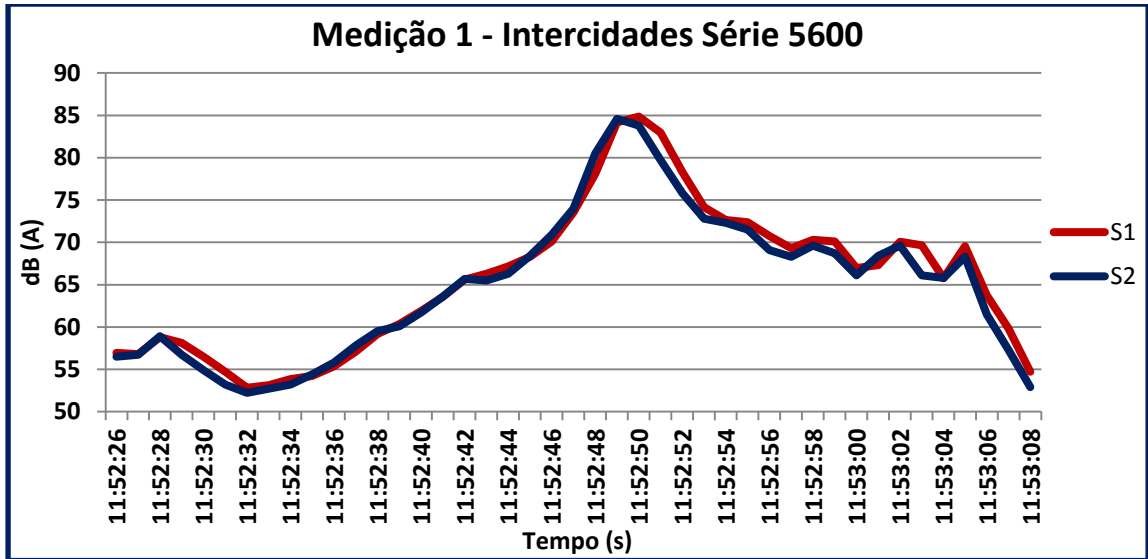


Figura 64 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 1.

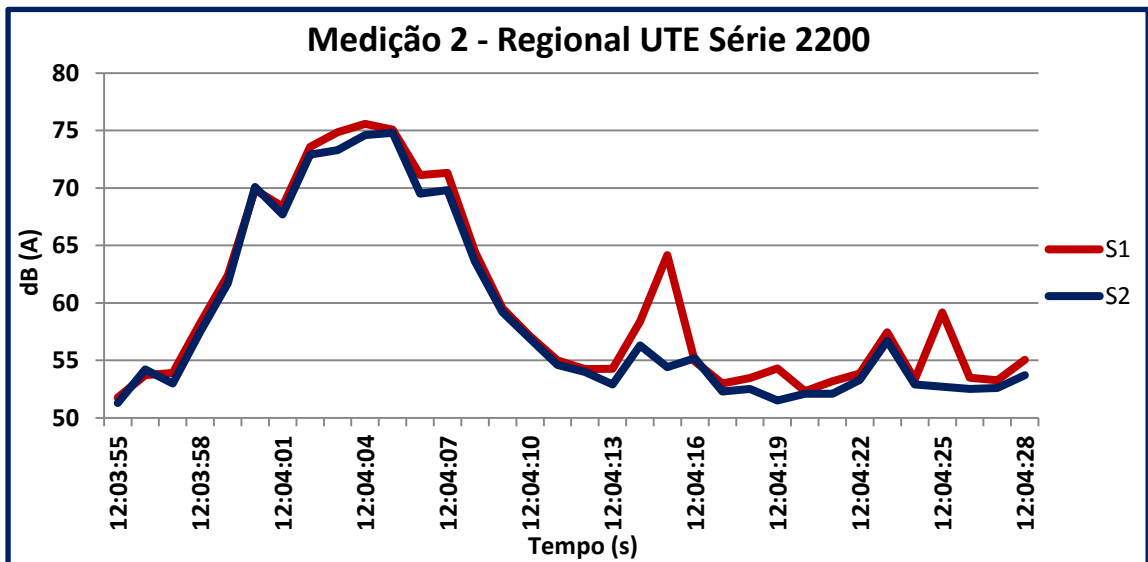


Figura 65 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 2.

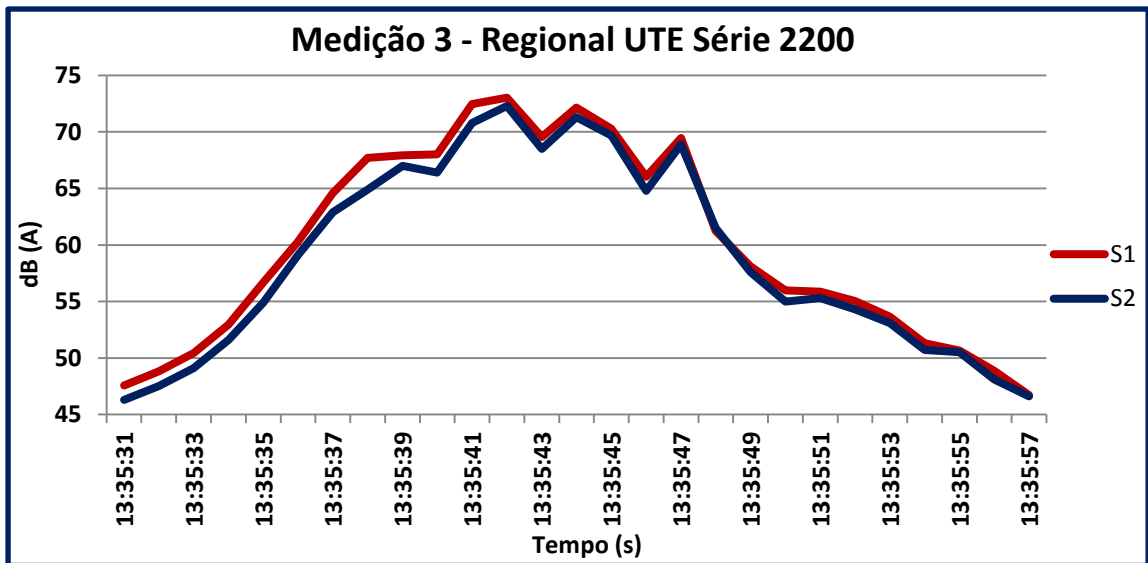


Figura 66 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 3.

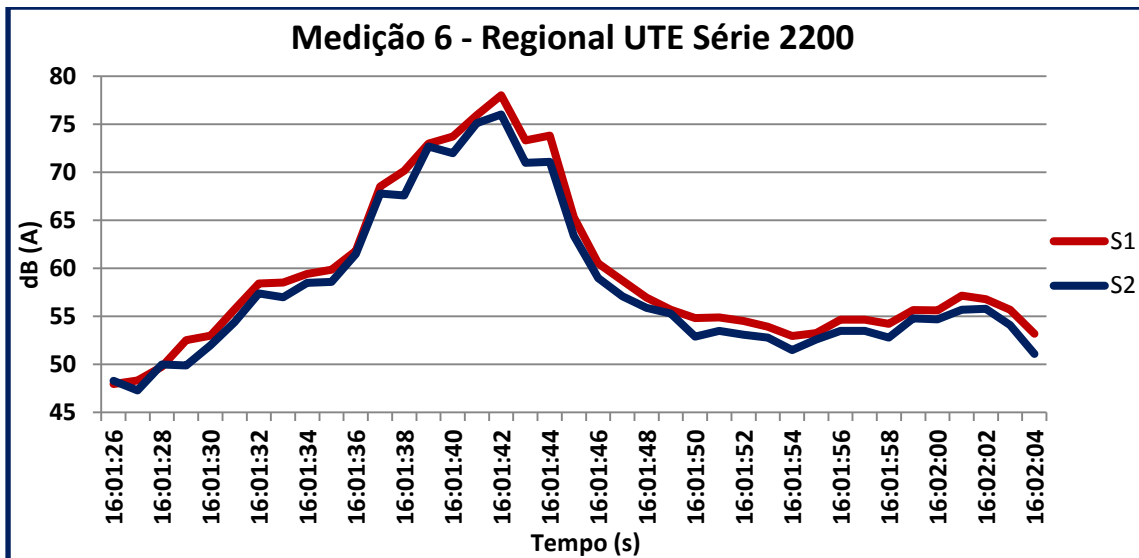


Figura 67 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 6.

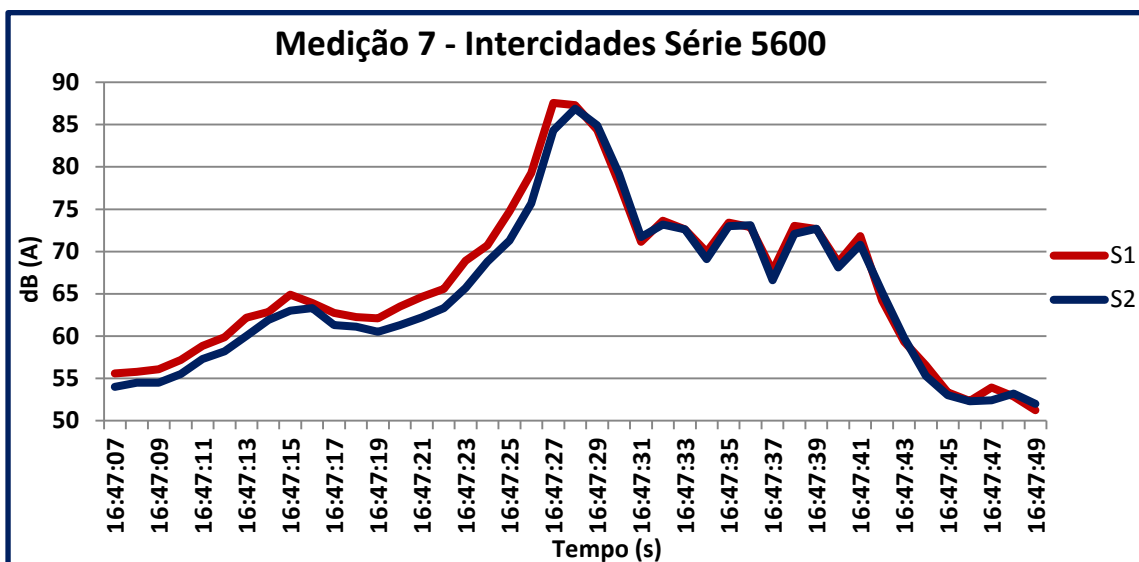


Figura 68 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 7.

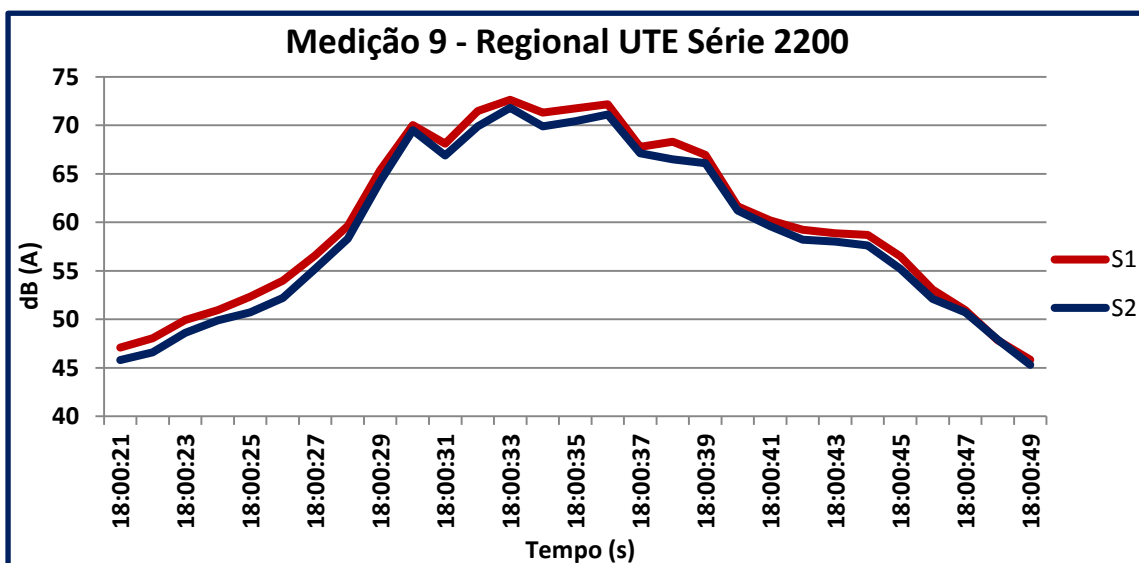


Figura 69 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 9.

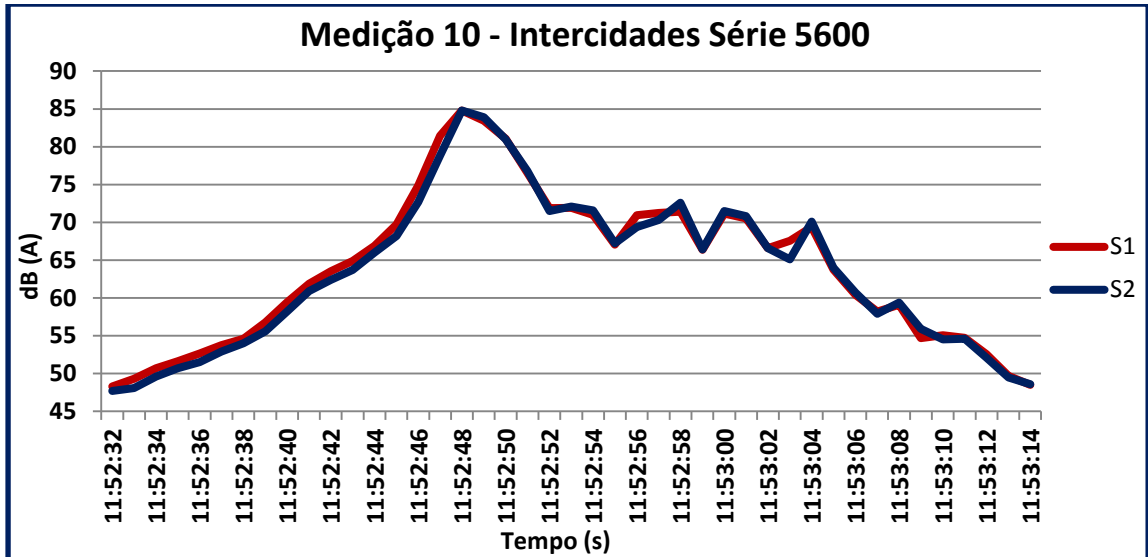


Figura 70 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 10.

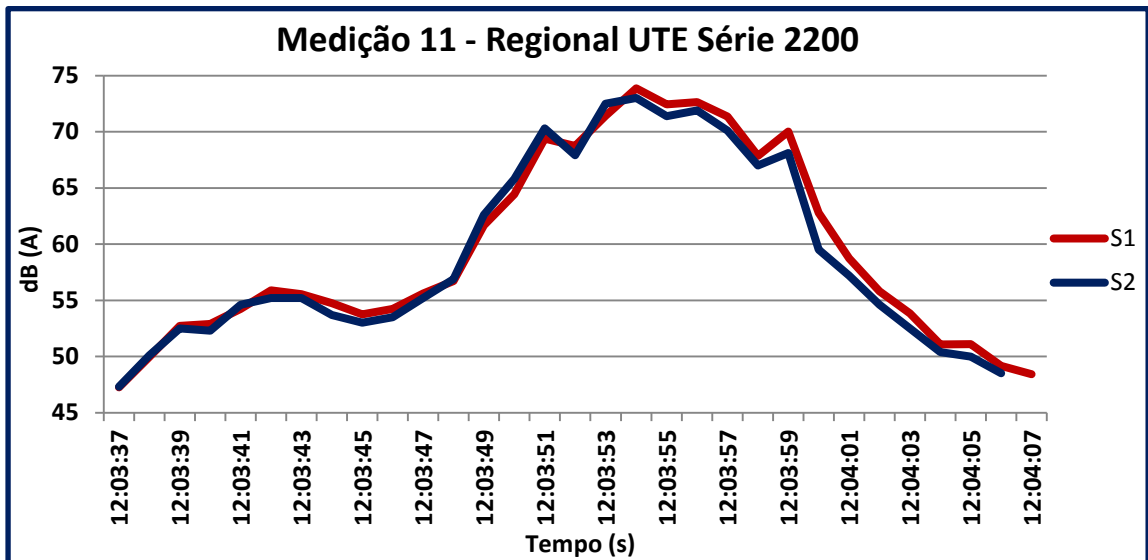


Figura 71 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 11.

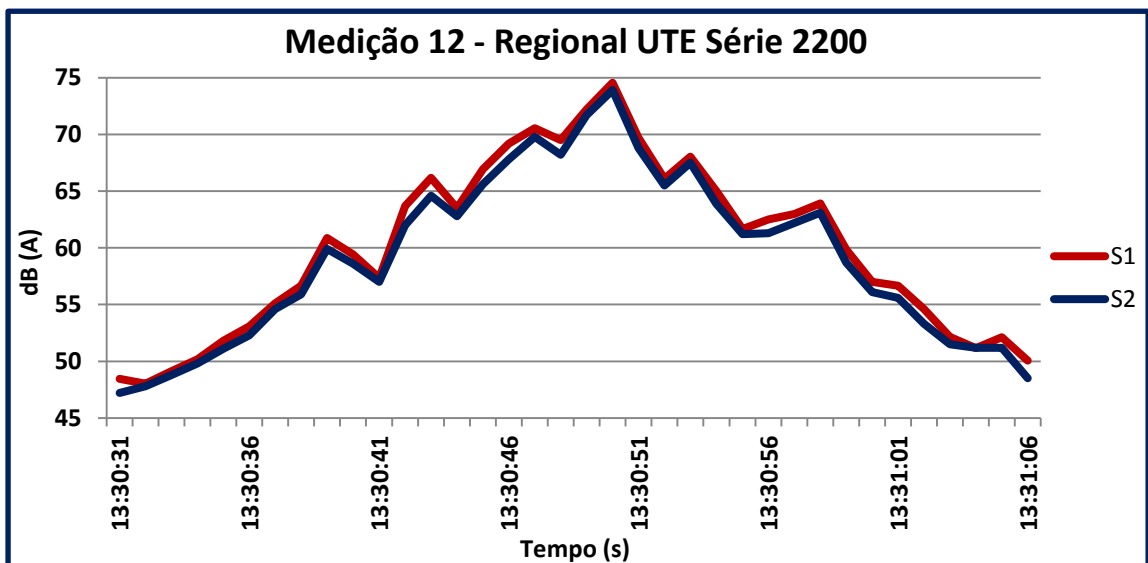


Figura 72 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 12.

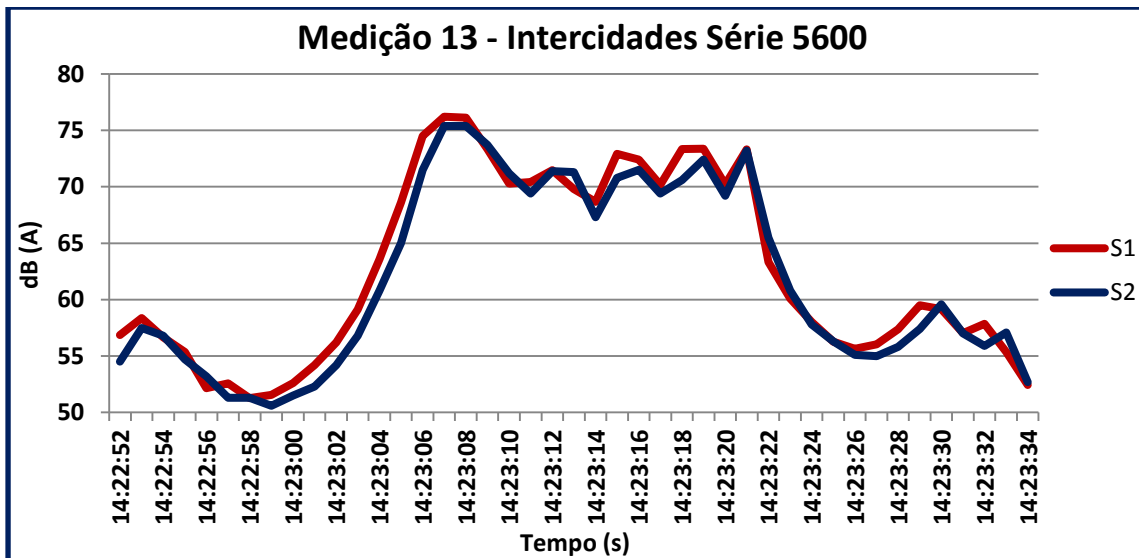


Figura 73 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 13.

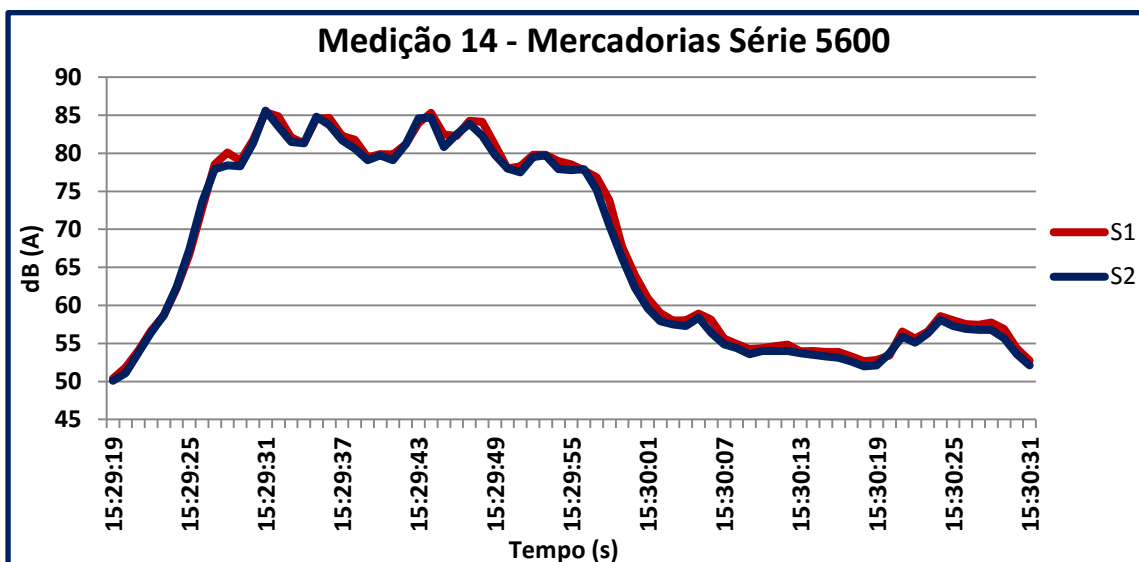


Figura 74 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 14.

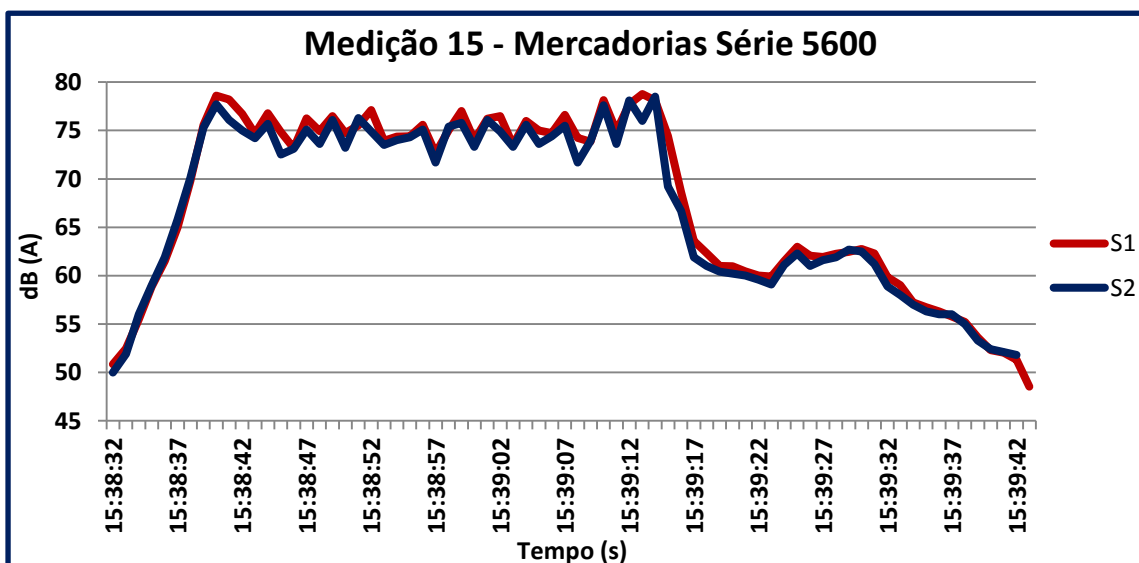


Figura 75 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 15.

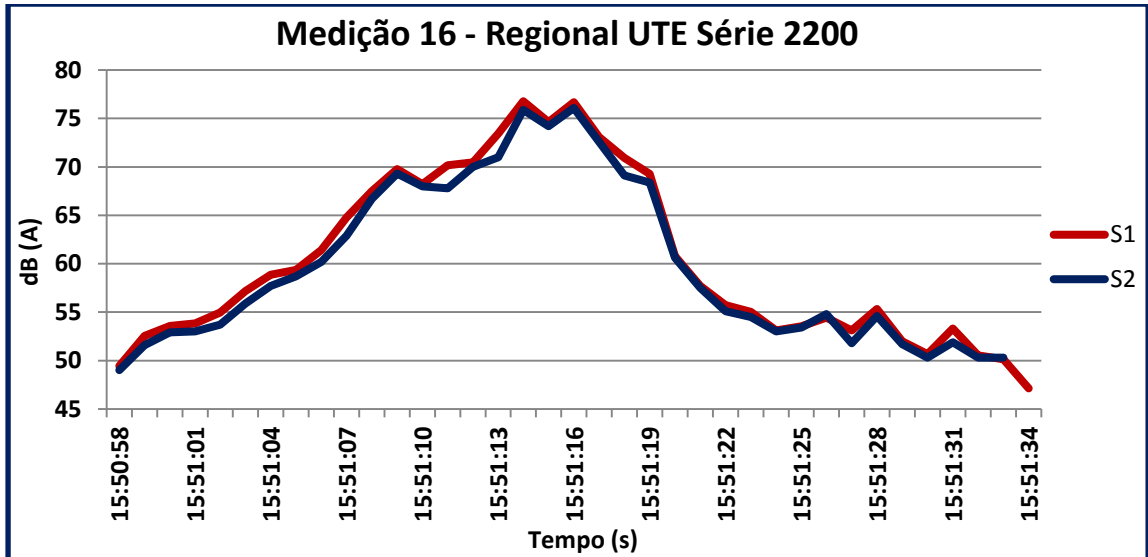


Figura 76 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 16.

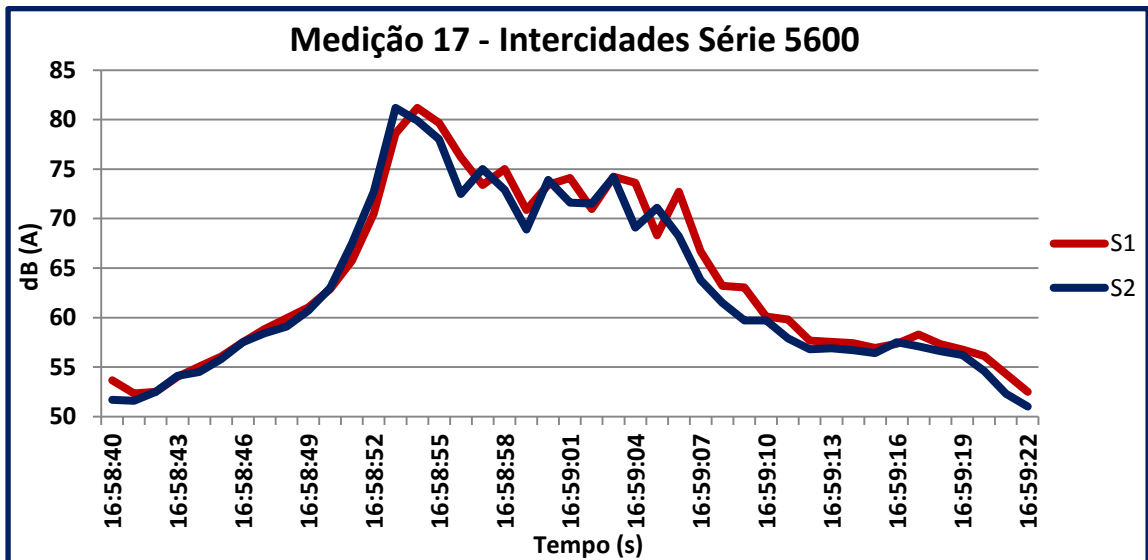


Figura 77 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 17.

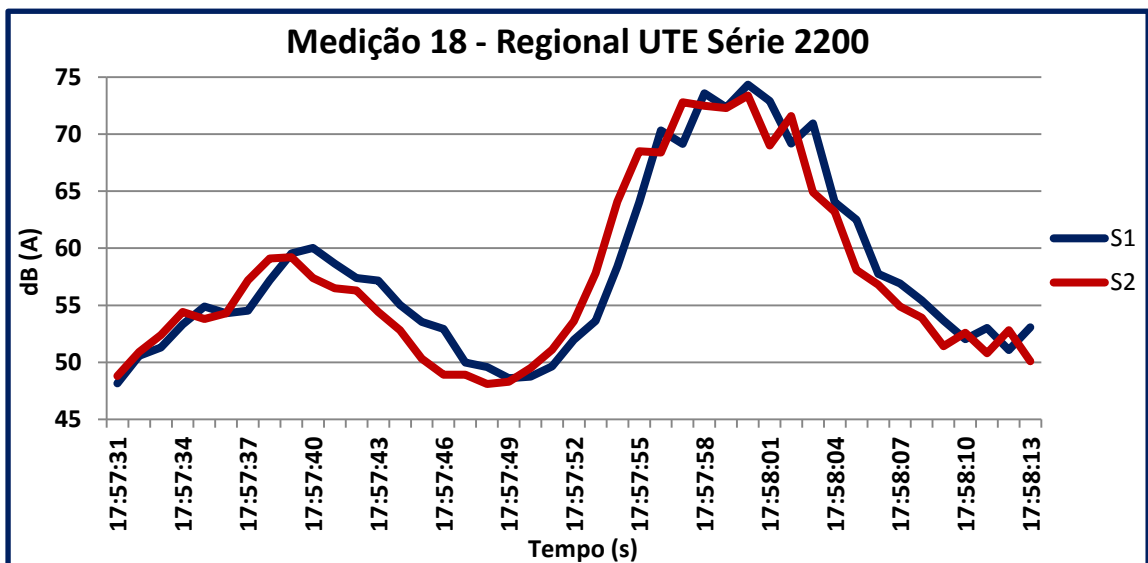


Figura 78 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 18.

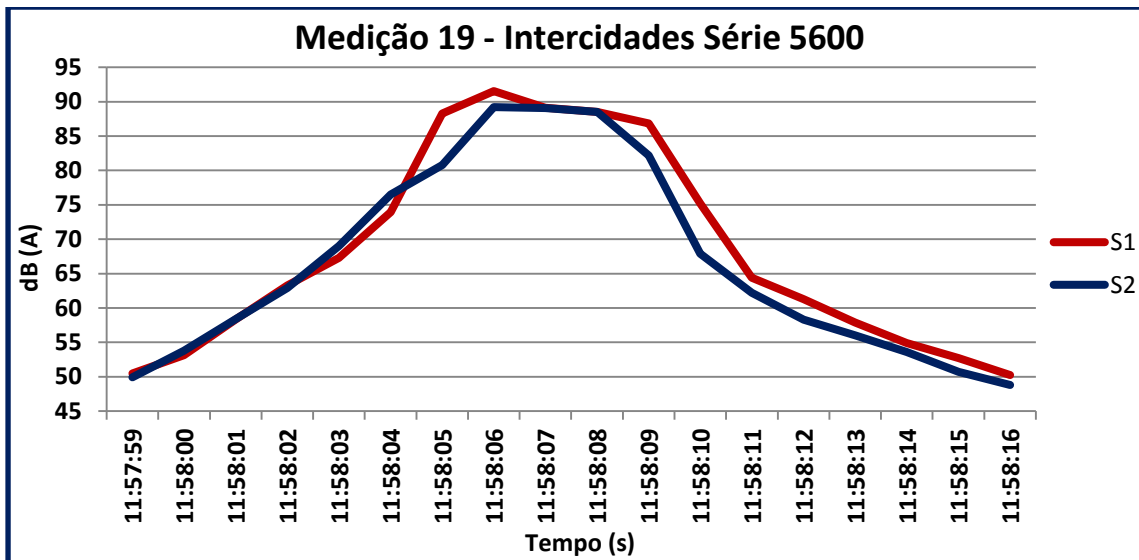


Figura 79 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 19.

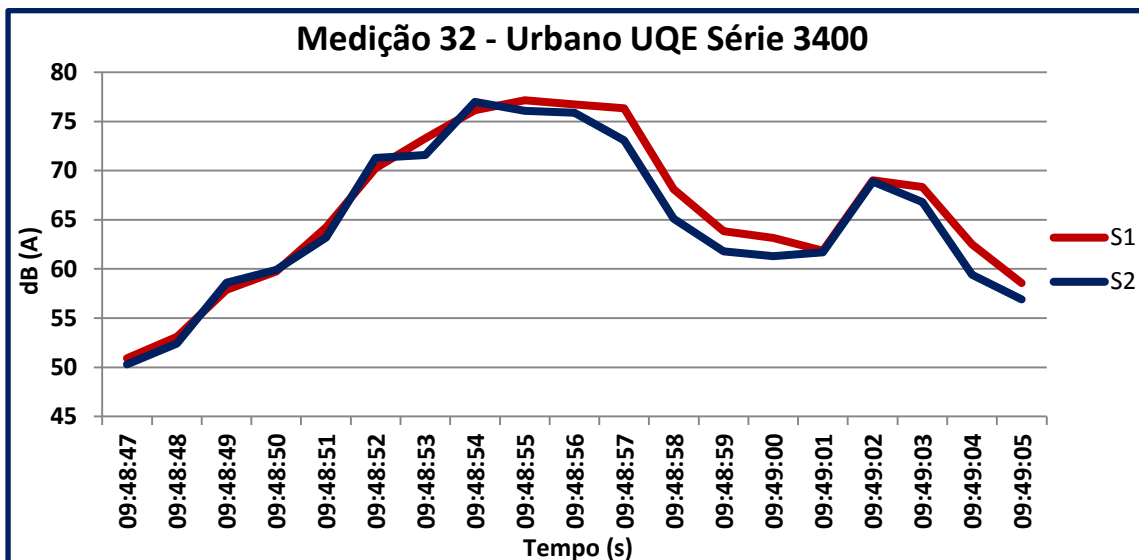


Figura 80 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 32.

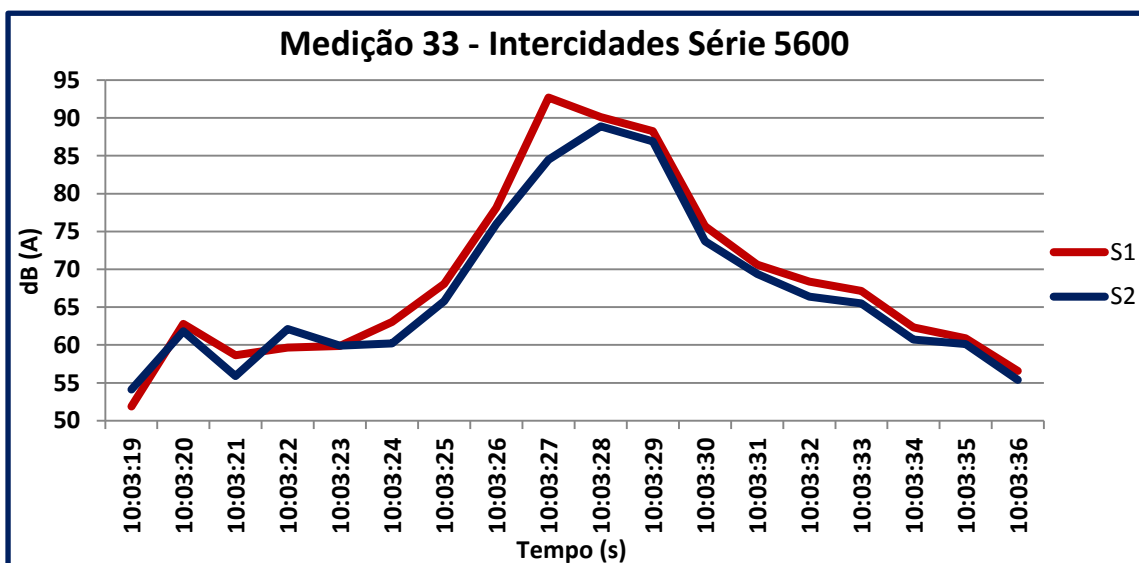


Figura 81 - Comparativo entre os dois sonômetros para a medição 33.

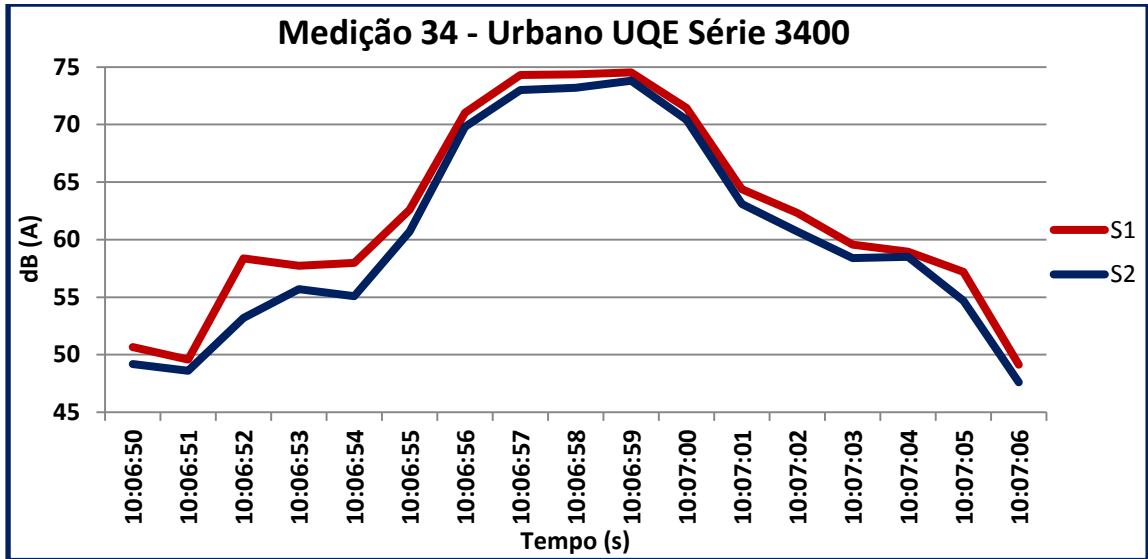


Figura 82 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 34.

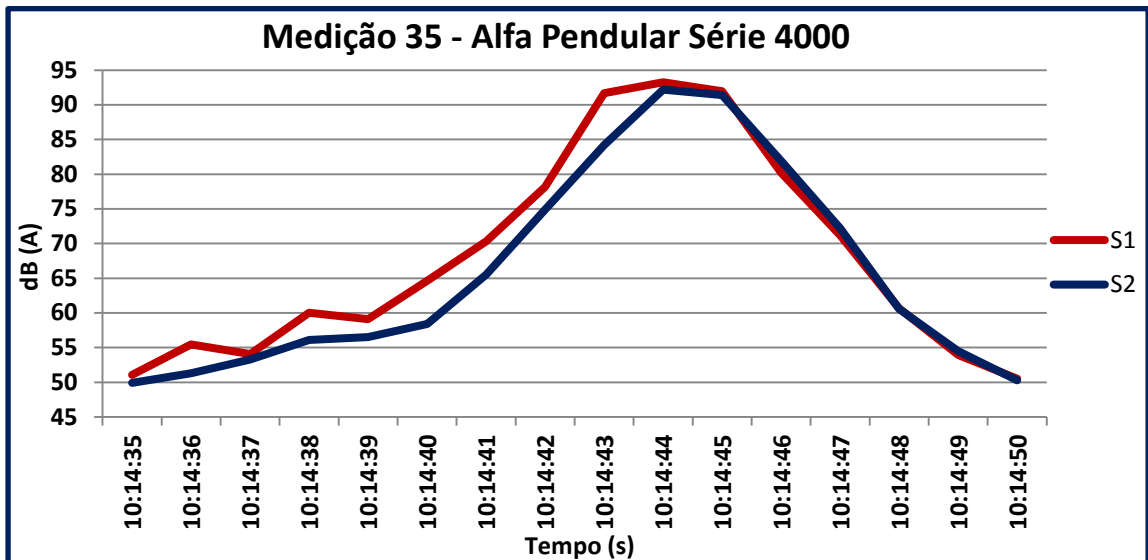


Figura 83 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 35.

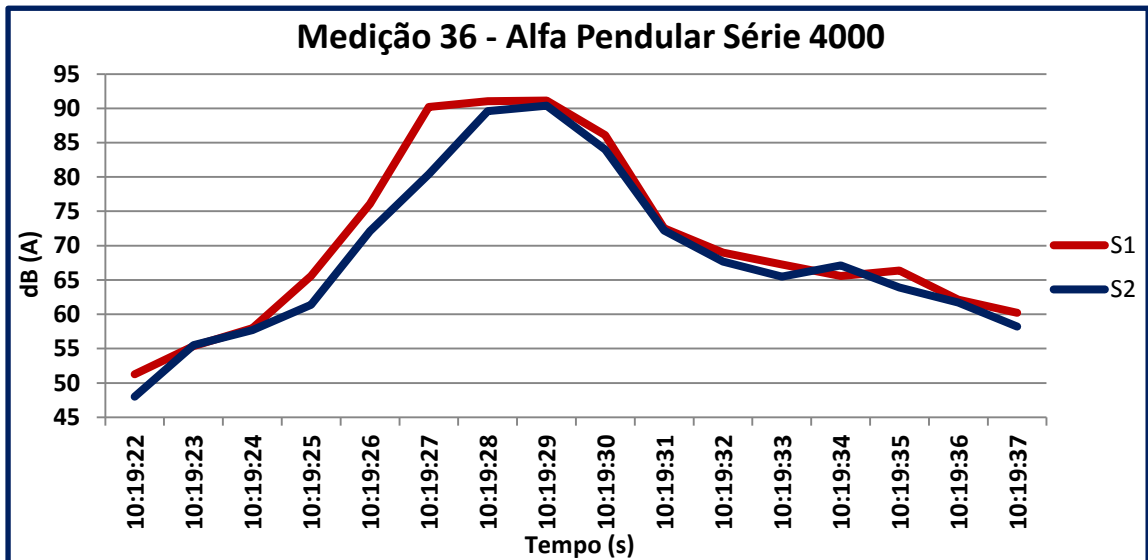


Figura 84 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 36.

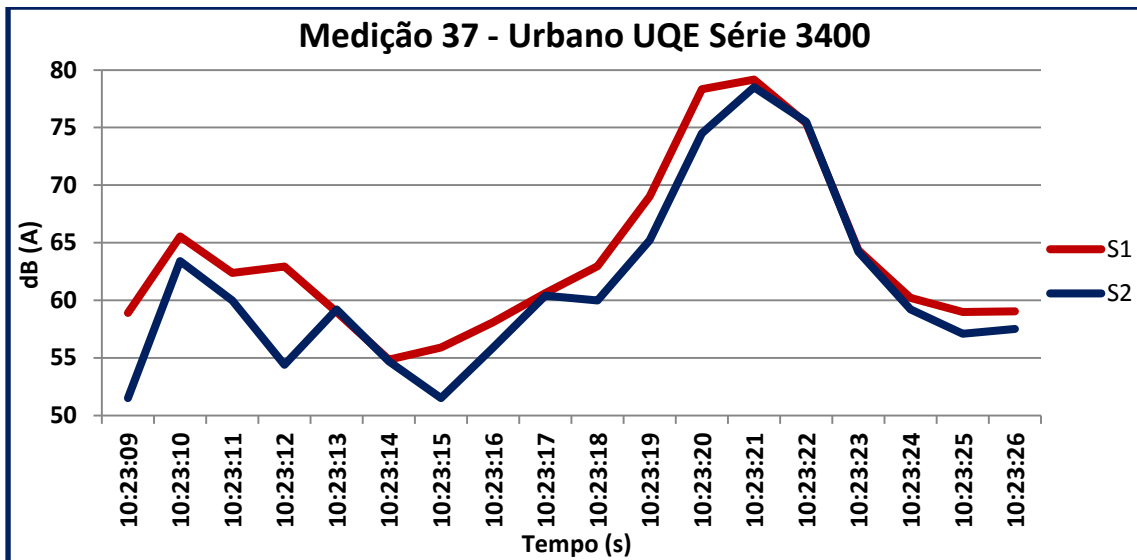


Figura 85 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 37.

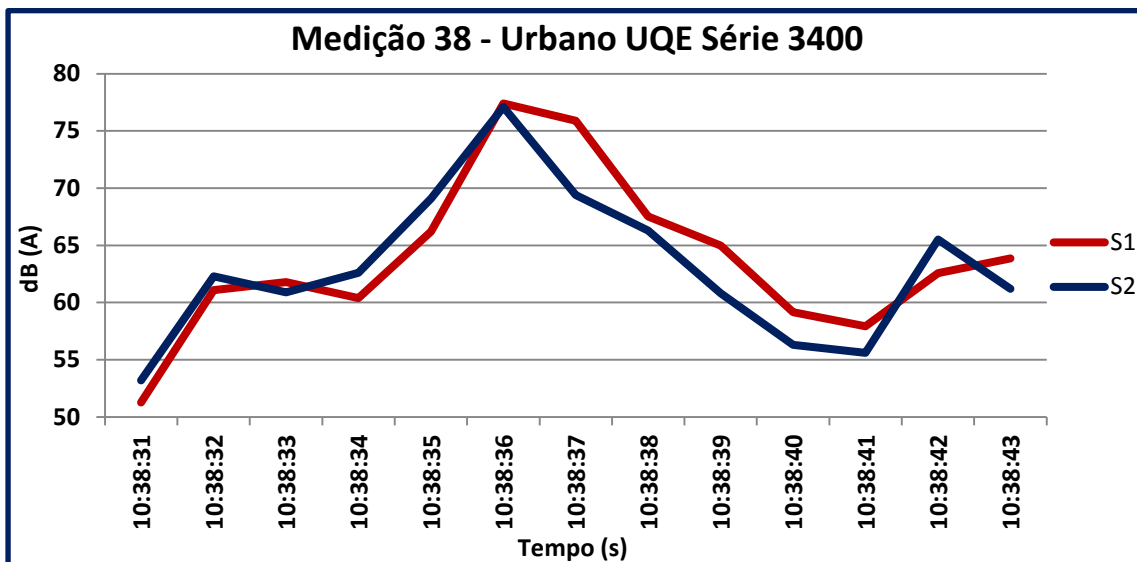


Figura 86 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 38.

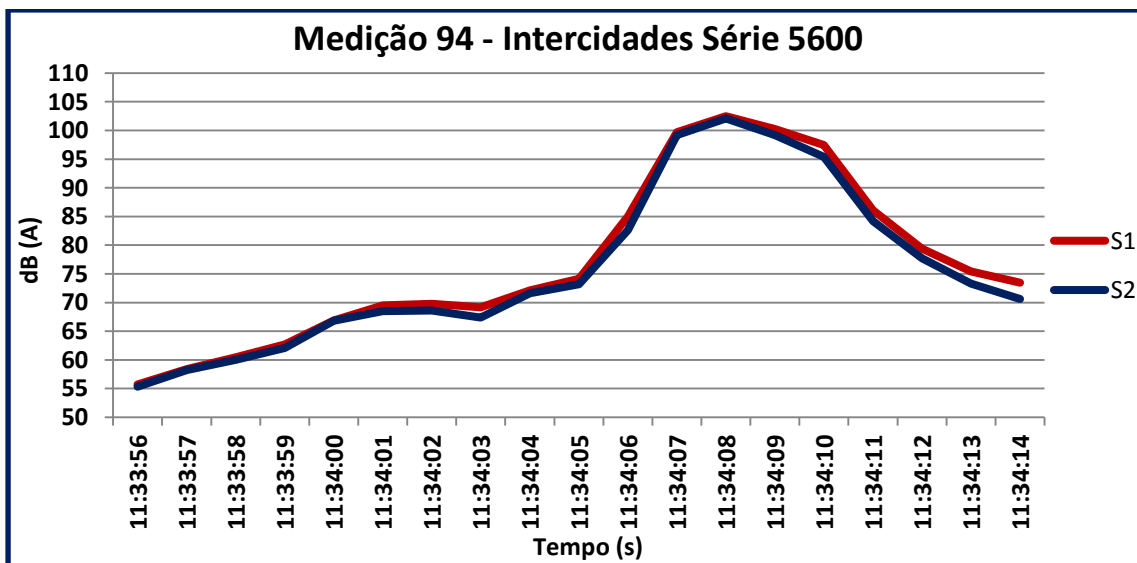


Figura 87 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 94.

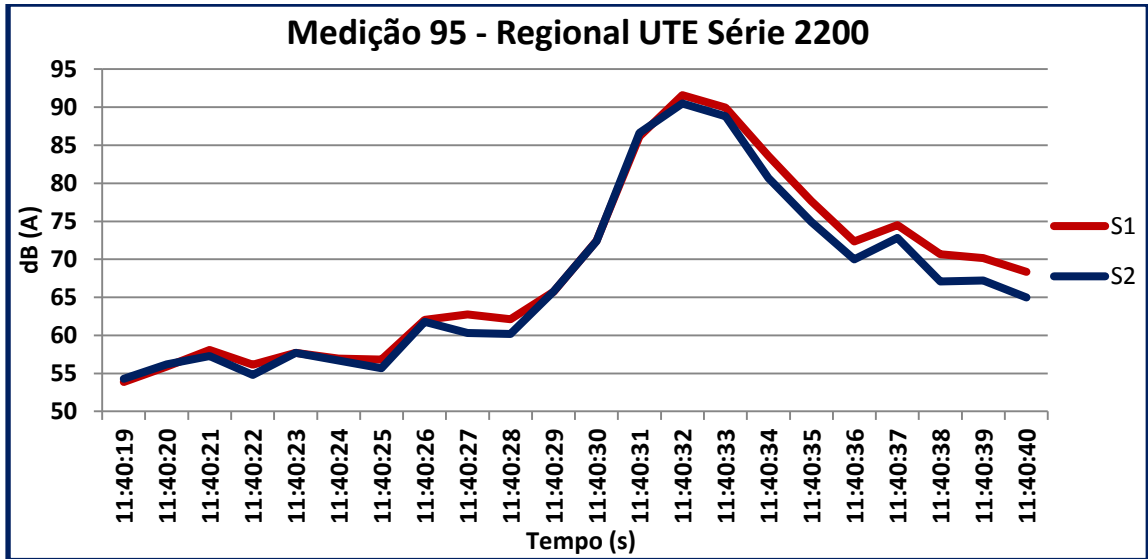


Figura 88 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 95.

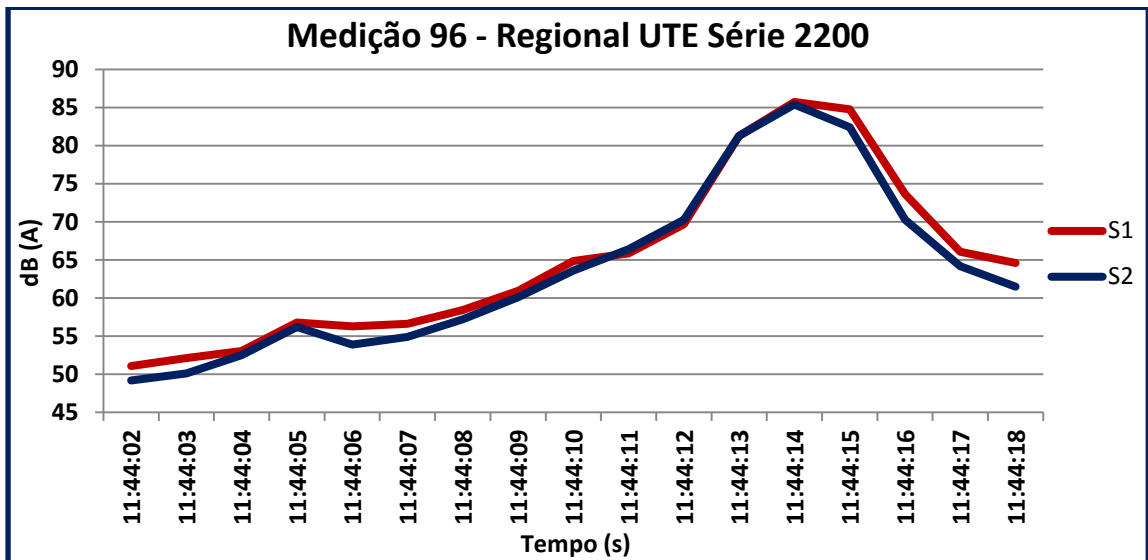


Figura 89 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 96.

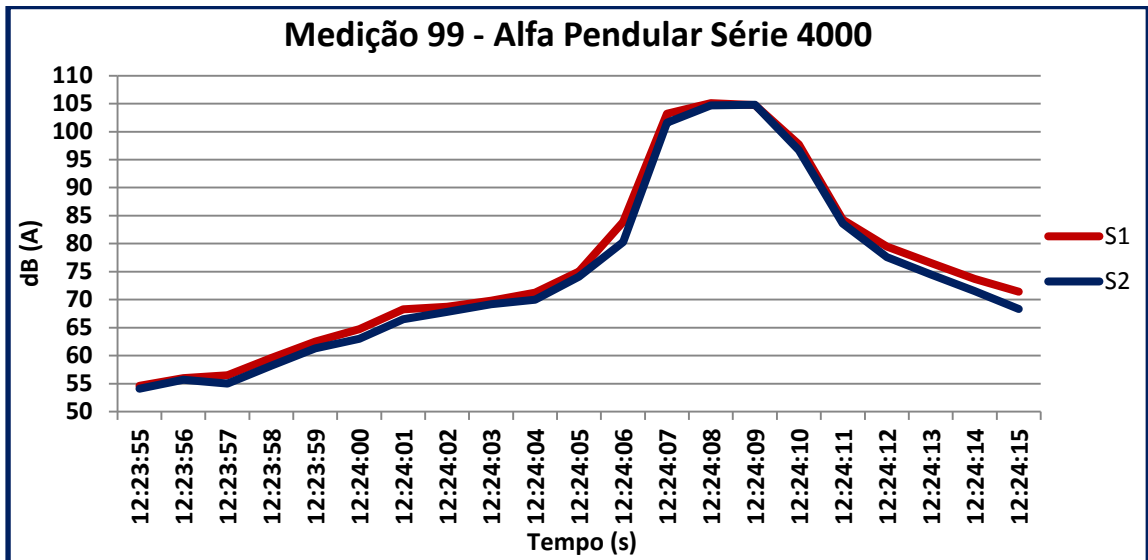


Figura 90 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 99.

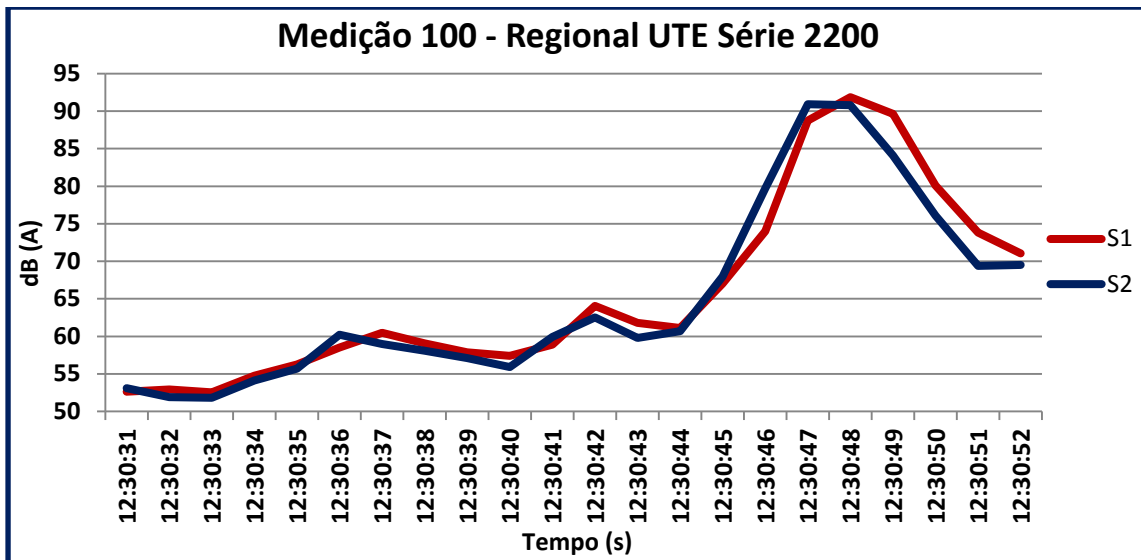


Figura 91 - Comparativo entre os dois sonómetros para a medição 100.

**Anexo VI – Gráficos com a resultante obtida das medições das vibrações.**

## LOCAL 2

Tipo de material circulante: Intercidades (LOC 5600); Sentido: Ambos

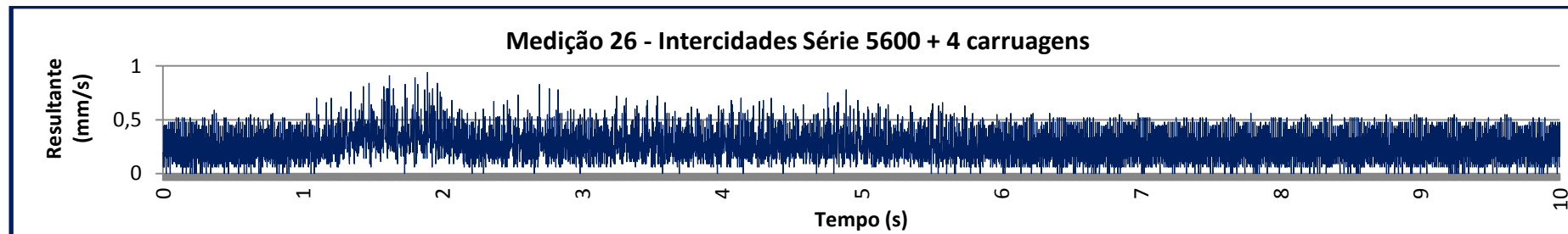


Figura 92 - Resultante obtido na medição 26.

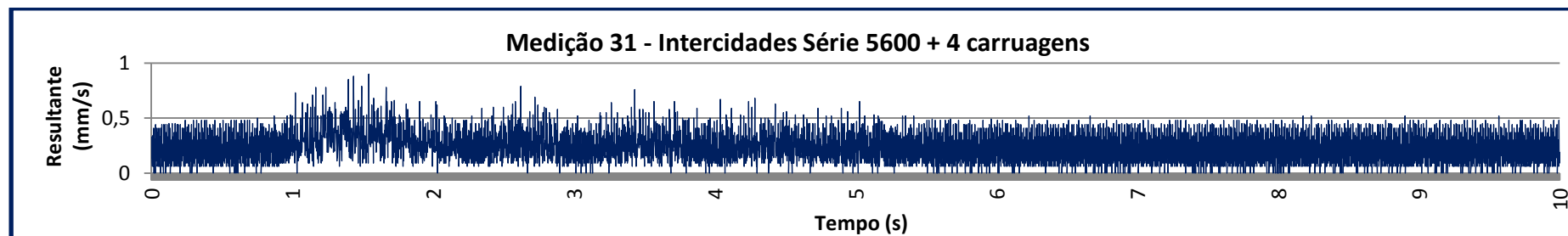


Figura 93 - Resultante obtido na medição 31.

Tipo de material circulante: Regional (Série 2200); Sentido: Ambos

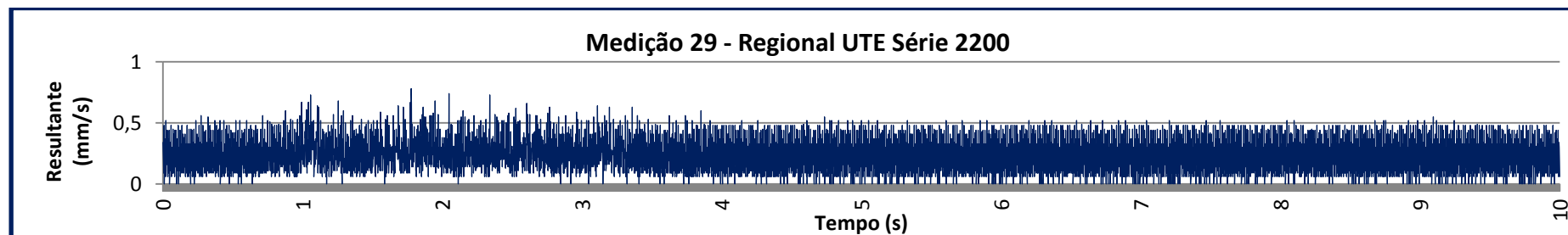


Figura 94 - Resultante obtido na medição 29.

Tipo de material circulante: Mercadorias (LOC 5600); Sentido: Ambos

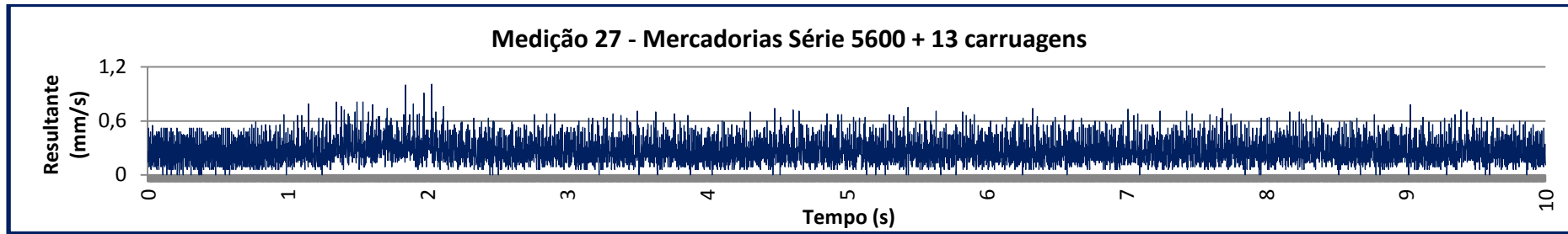


Figura 95 - Resultante obtido na medição 27.

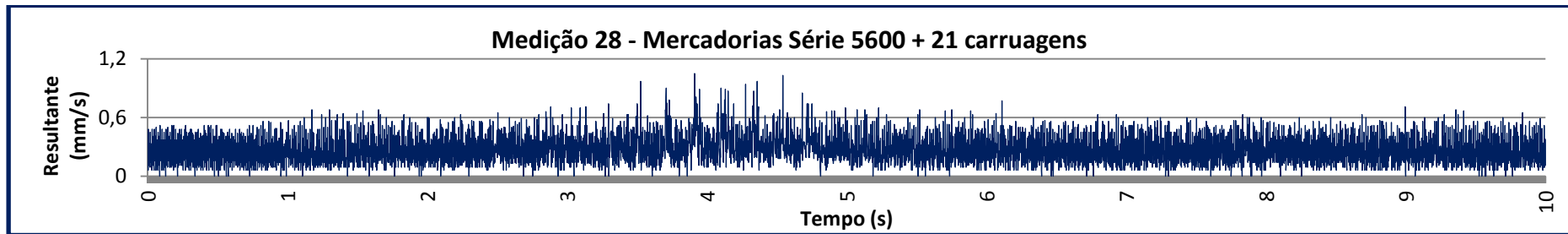


Figura 96 - Resultante obtido na medição 28.

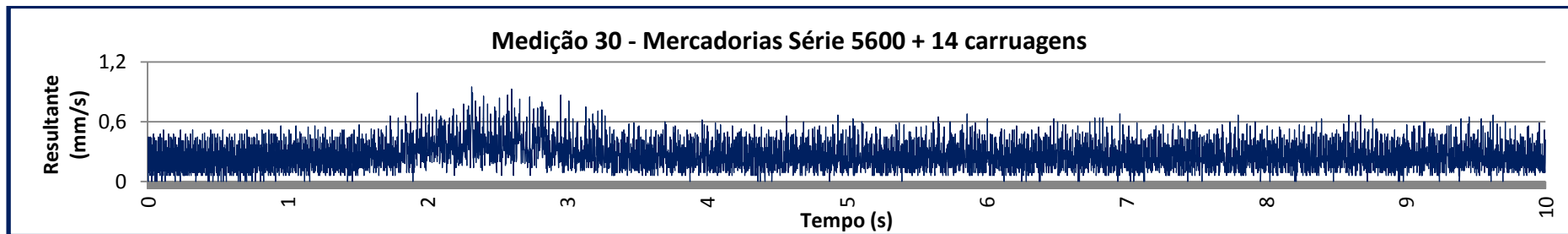


Figura 97 - Resultante obtido na medição 30.

### LOCAL 3

Tipo de material circulante: Intercidades (LOC 5600); Sentido: Sul – Norte

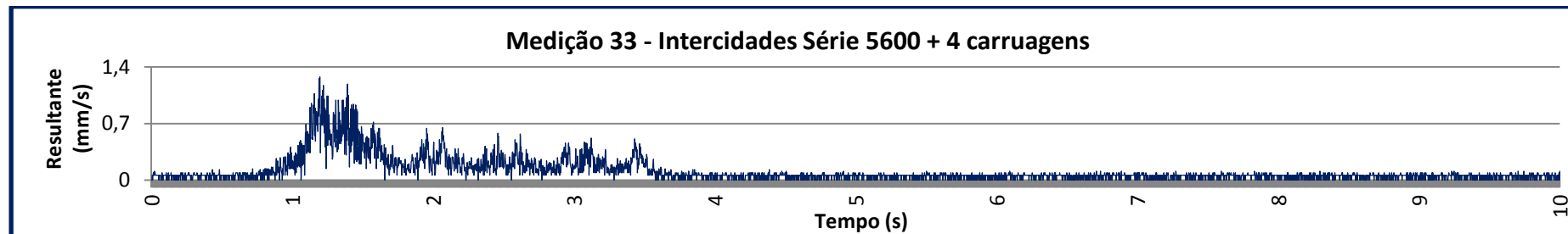


Figura 98 - Resultante obtido na medição 33.

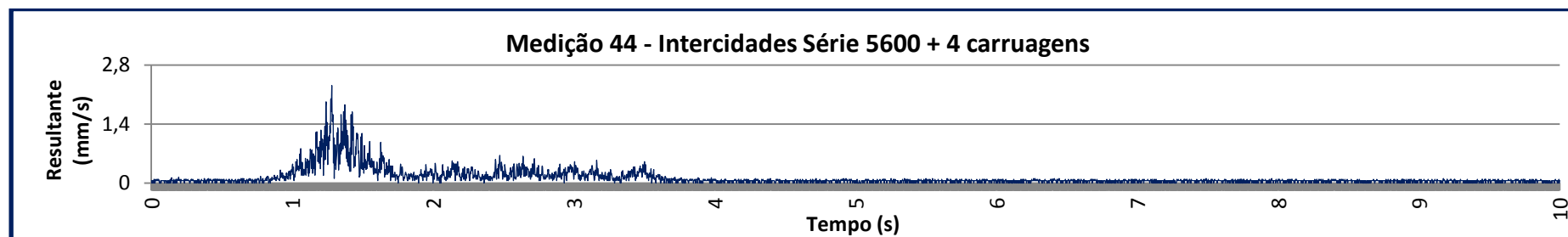


Figura 99 - Resultante obtido na medição 44.

Tipo de material circulante: Intercidades (LOC 5600); Sentido: Norte – Sul

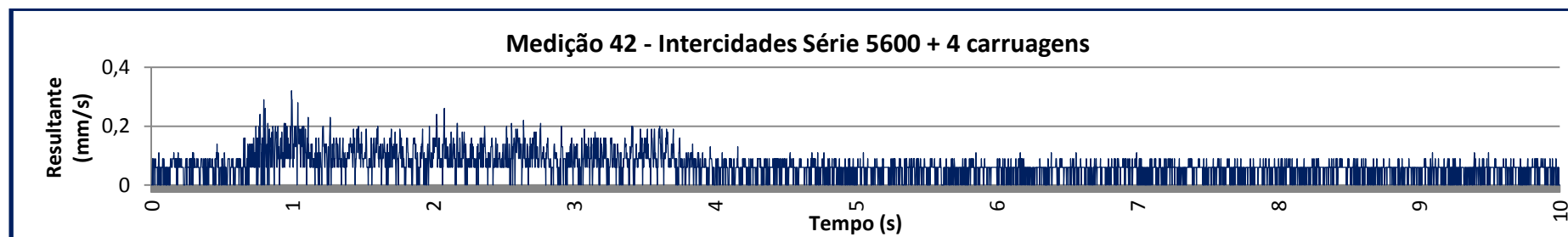


Figura 100 - Resultante obtido na medição 42.

Tipo de material circulante: Urbano (Série 3400); Sentido: Norte – Sul

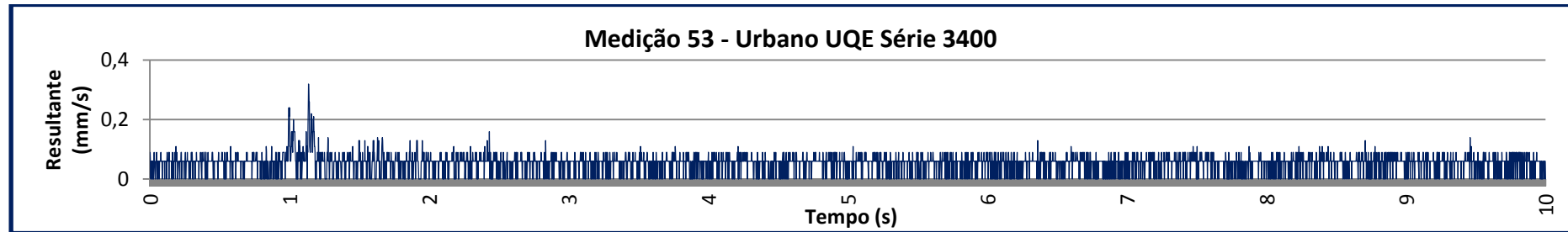


Figura 101 - Resultante obtido na medição 53.

Tipo de material circulante: Urbano (Série 3400); Sentido: Sul – Norte

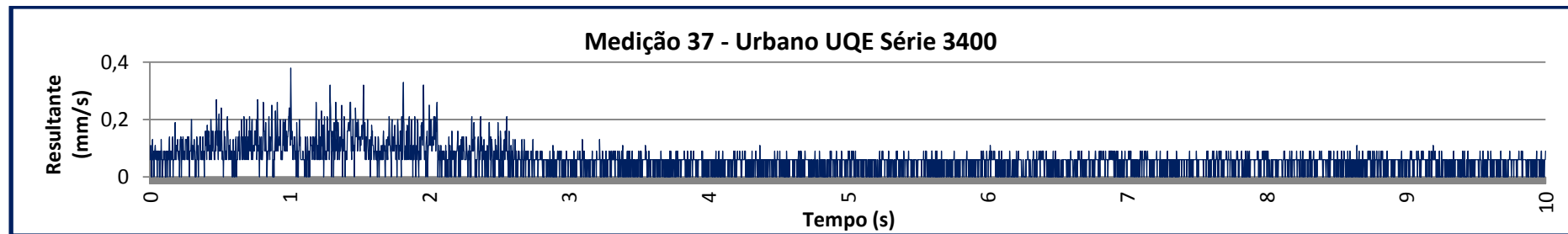


Figura 102 - Resultante obtido na medição 37.

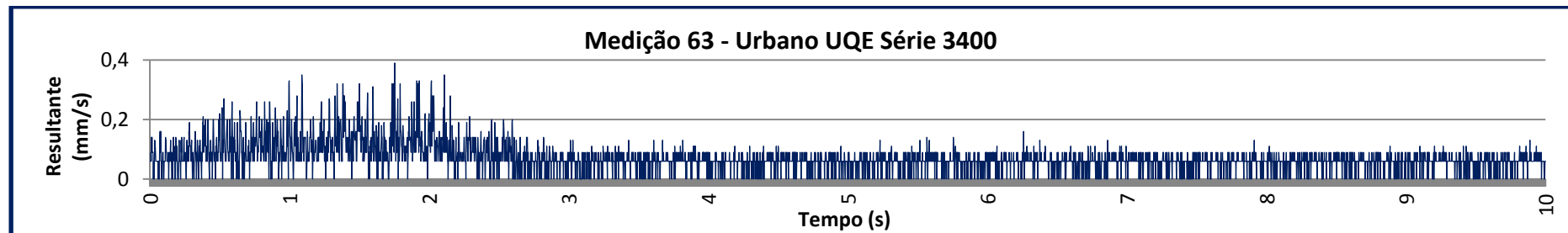


Figura 103 - Resultante obtido na medição 63.

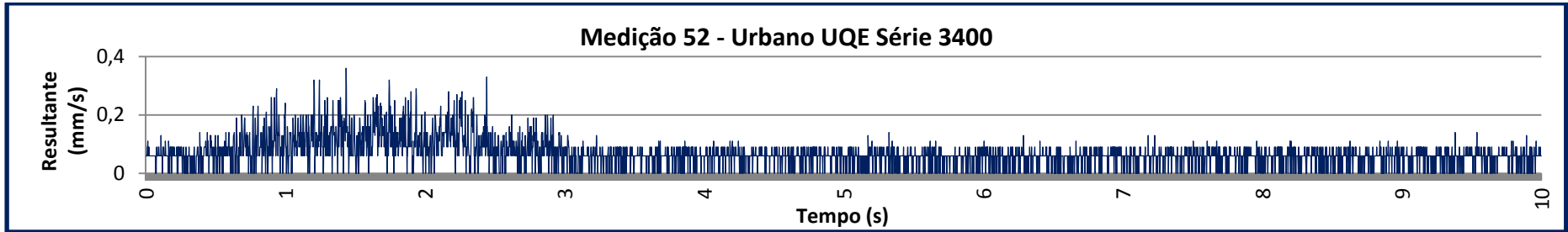


Figura 104 - Resultante obtido na medição 52.

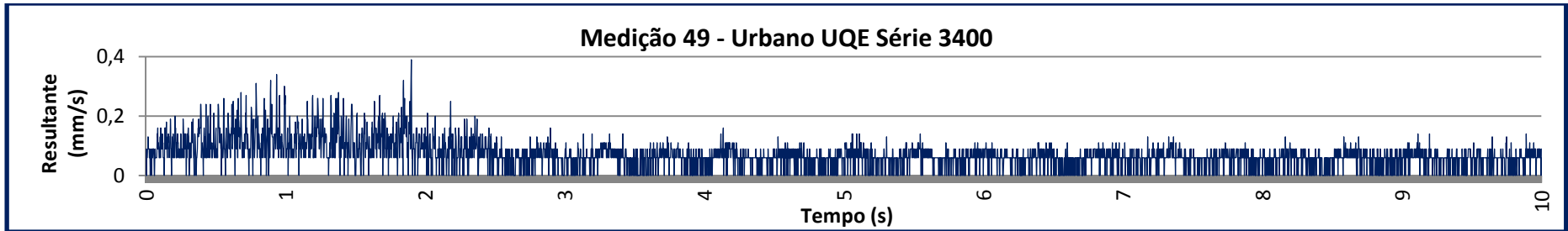


Figura 105 - Resultante obtido na medição 49.

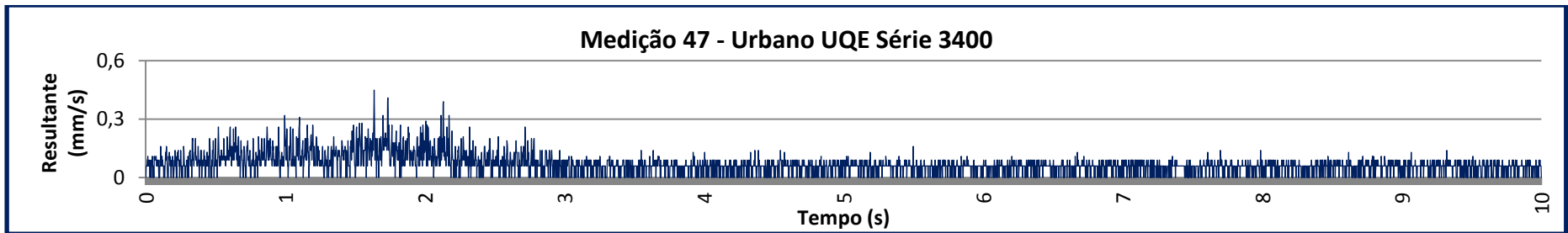


Figura 106 - Resultante obtido na medição 47.

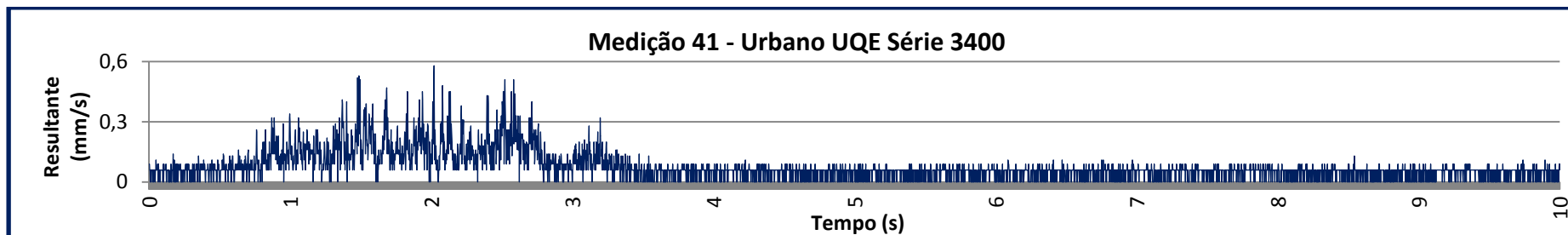


Figura 107 - Resultante obtido na medição 41.

Tipo de material circulante: Mercadorias (LOC 5600 e LOC 6000); Sentido: Norte – Sul

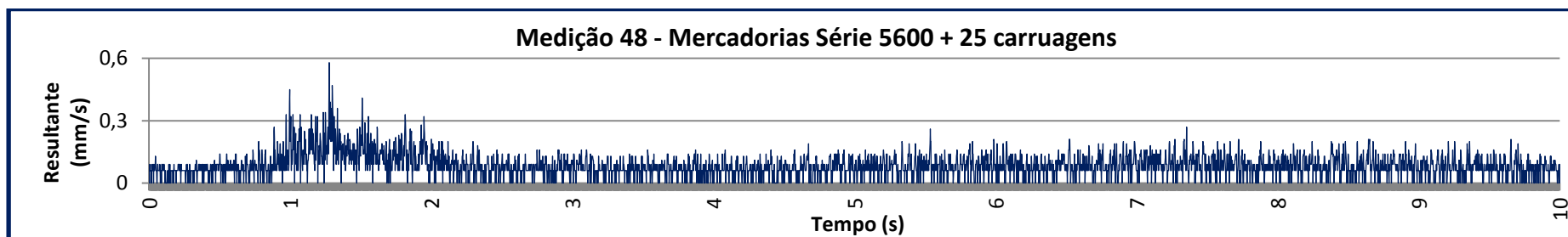


Figura 108 - Resultante obtido na medição 48.

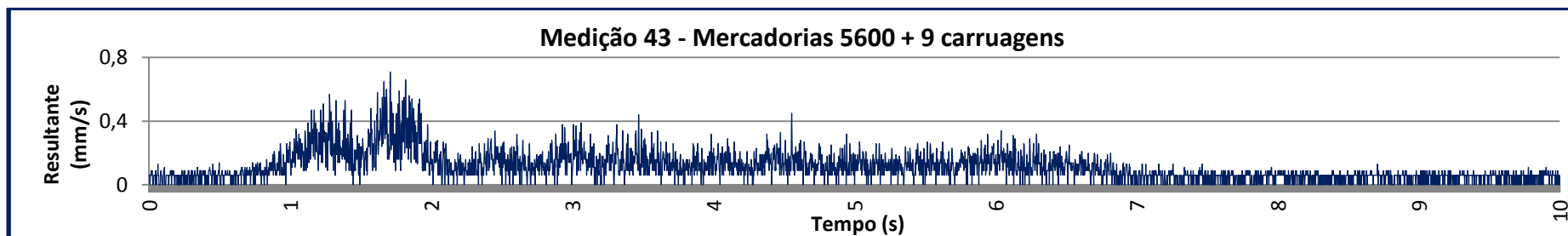


Figura 109 - Resultante obtido na medição 43.

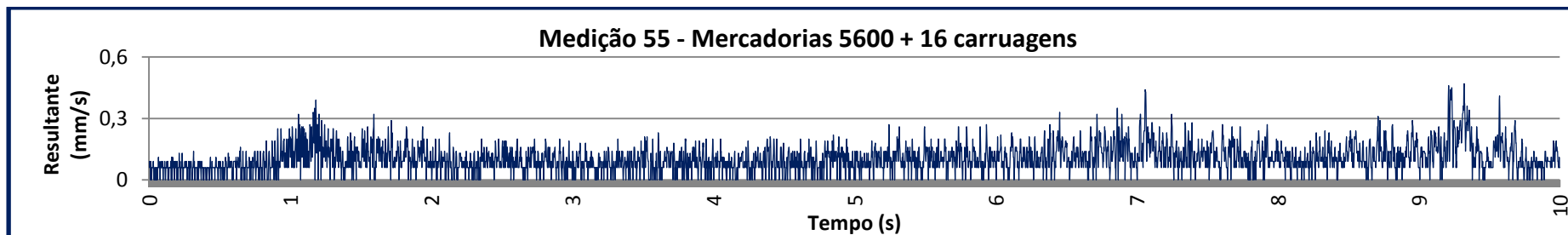


Figura 110 - Resultante obtido na medição 55.

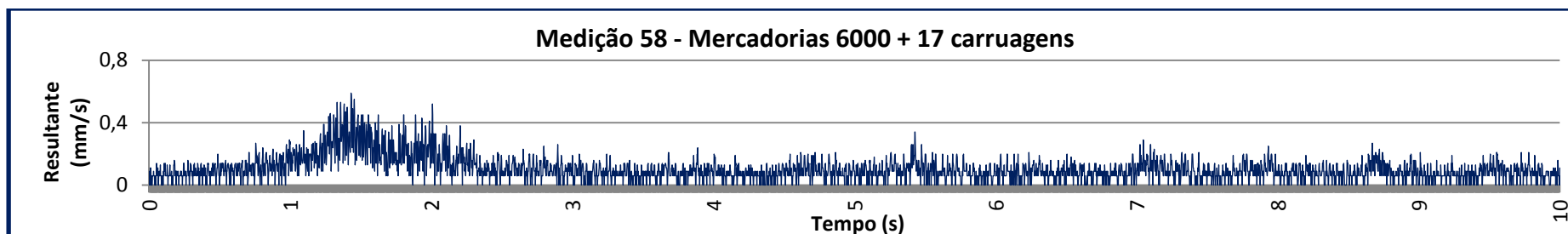


Figura 111 - Resultante obtido na medição 58.

Tipo de material circulante: Mercadorias (LOC 6000); Sentido: Sul – Norte

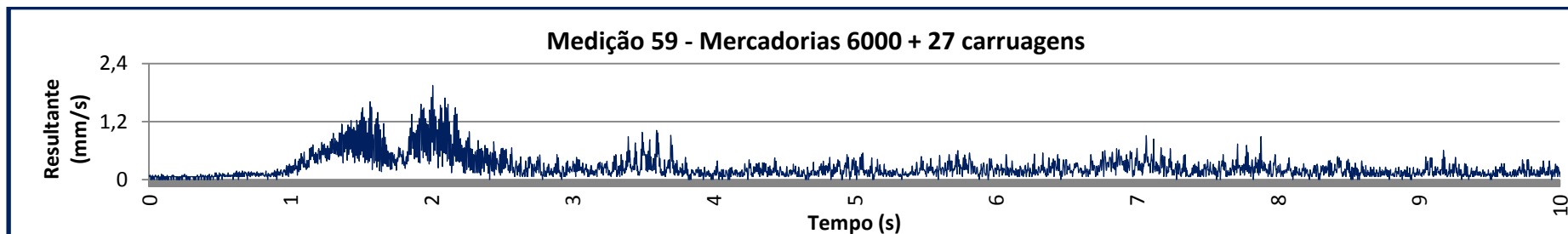


Figura 112 - Resultante obtido na medição 59.

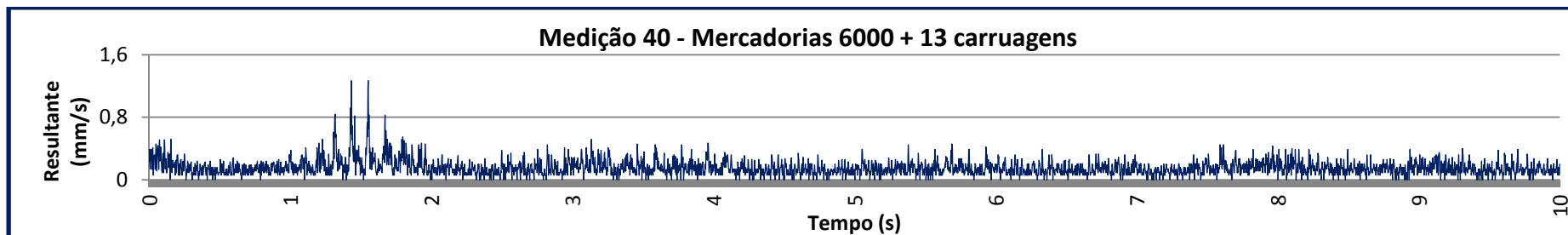


Figura 113 - Resultante obtido na medição 40.

Tipo de material circulante: Alfa Pendular (Série 4000); Sentido: Sul – Norte

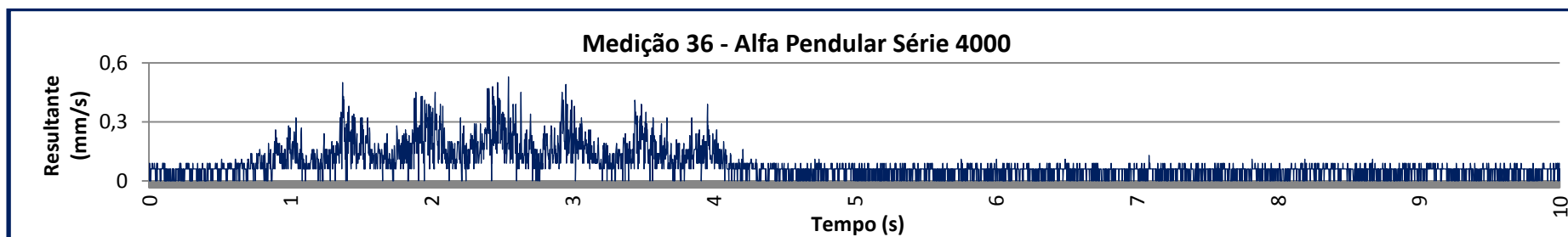


Figura 114 - Resultante obtido na medição 36.

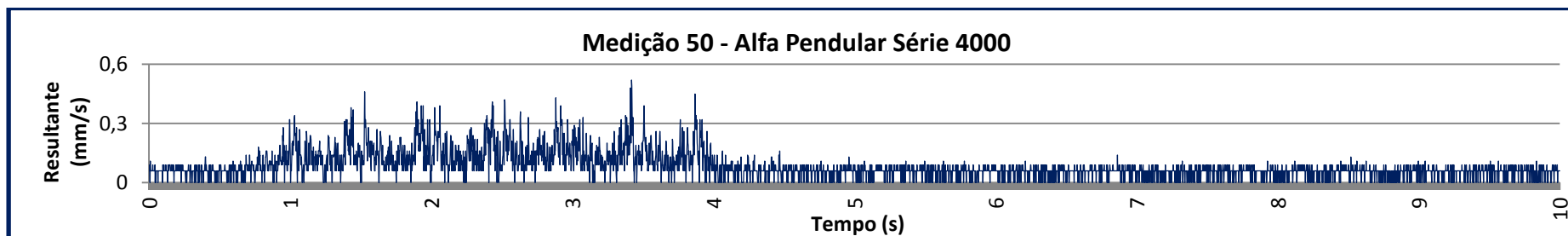


Figura 115 - Resultante obtido na medição 50.

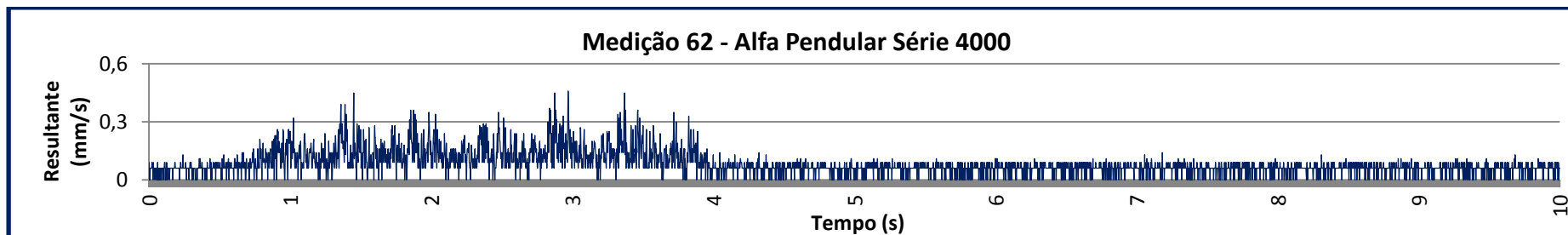


Figura 116 - Resultante obtido na medição 62.

Tipo de material circulante: Alfa Pendular (Série 4000); Sentido: Norte – Sul

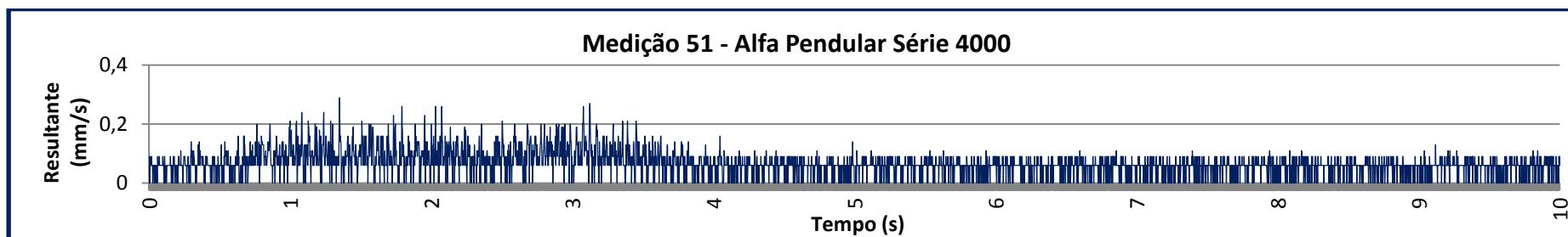


Figura 117 - Resultante obtido na medição 51.

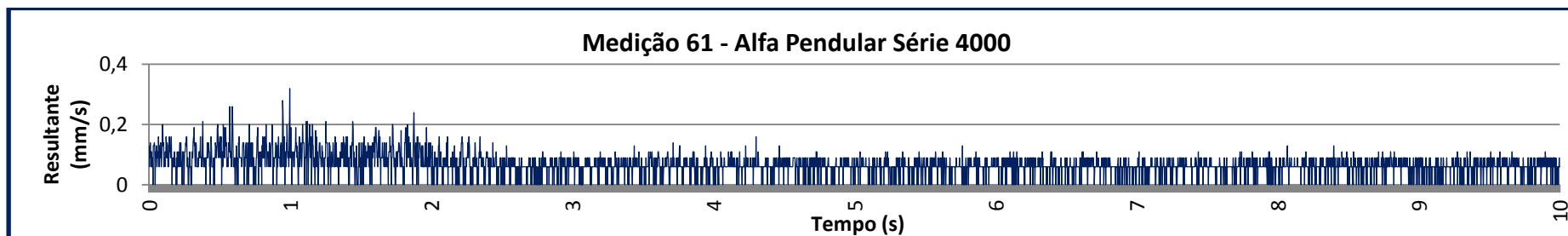


Figura 118 - Resultante obtido na medição 61.

## LOCAL 4

Tipo de material circulante: Intercidades (LOC 5600); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 11,5 metros

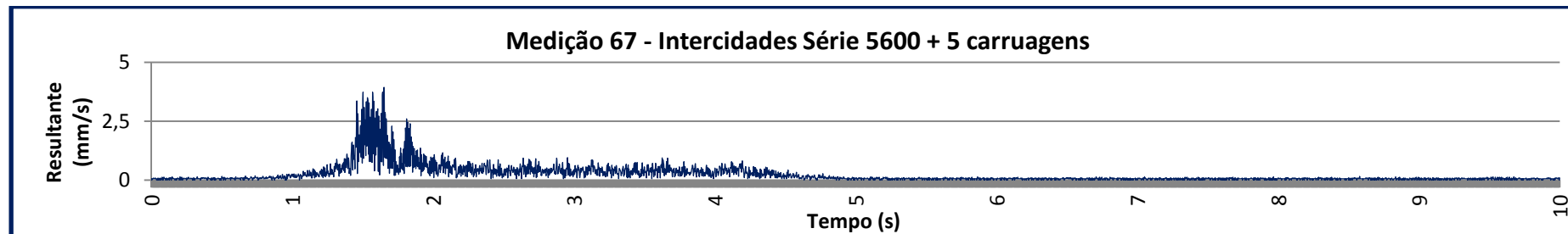


Figura 119 - Resultante obtido na medição 67.

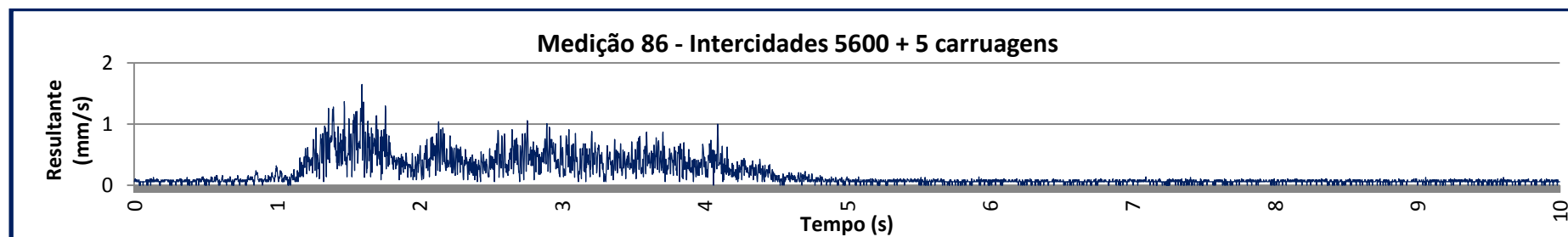


Figura 120 - Resultante obtido na medição 86.

Tipo de material circulante: Intercidades (LOC 5600); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros

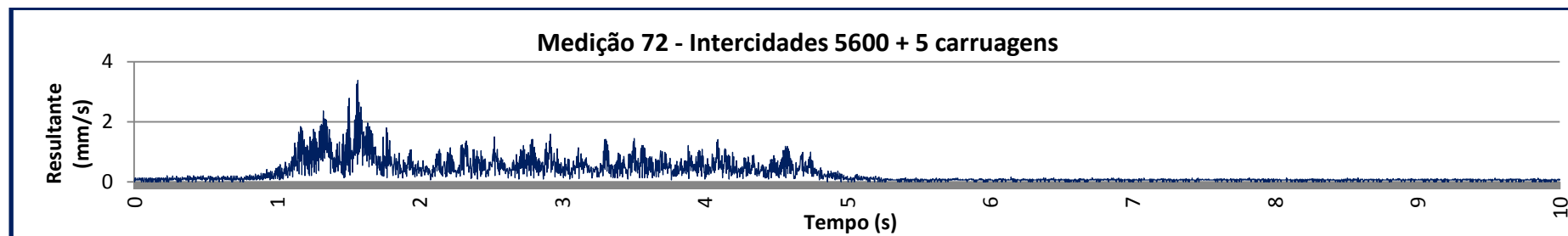


Figura 121 - Resultante obtido na medição 72.

Tipo de material circulante: Regional (Série 2200); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 11,5 metros

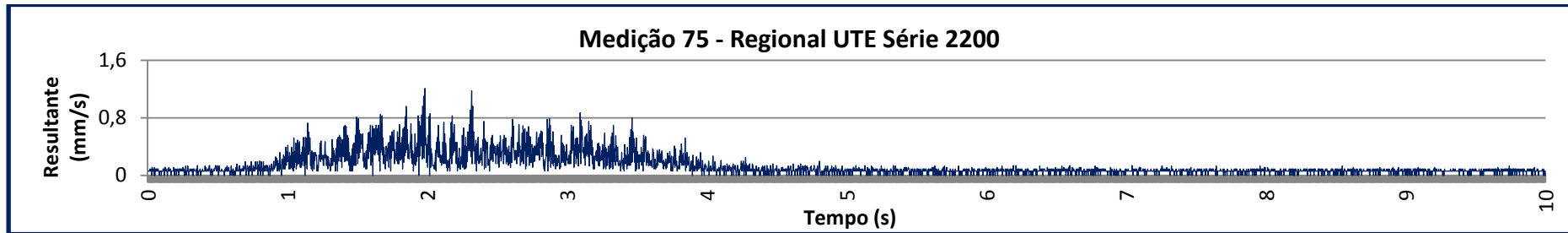


Figura 122 - Resultante obtido na medição 75.

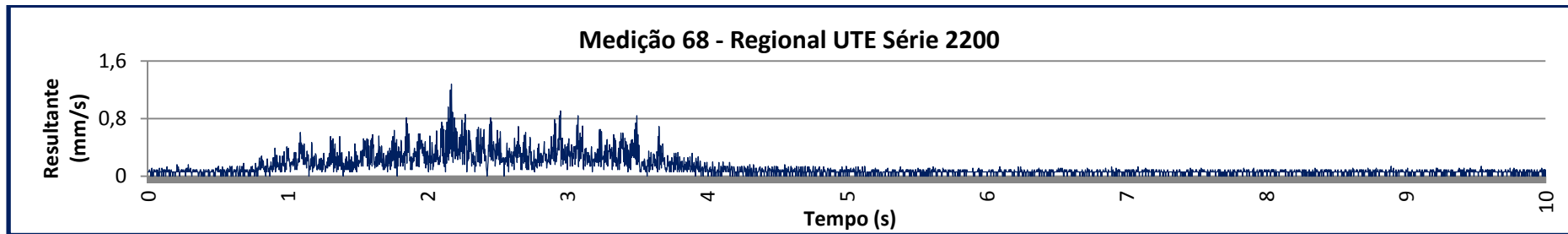


Figura 123 - Resultante obtido na medição 68.

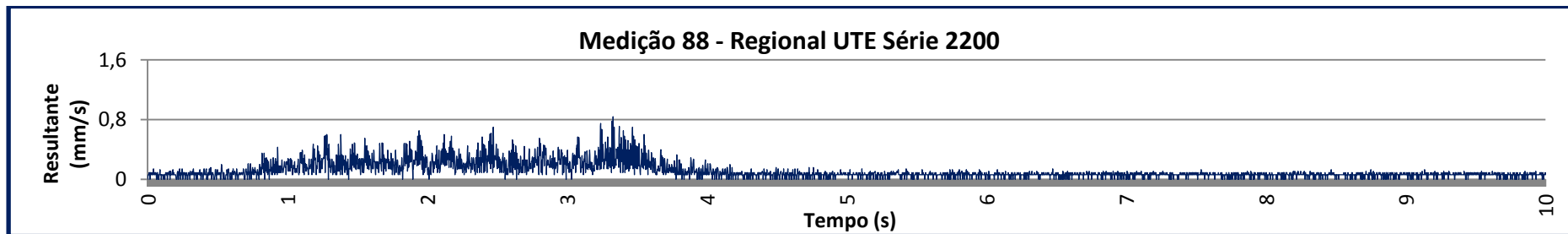


Figura 124 - Resultante obtido na medição 88.

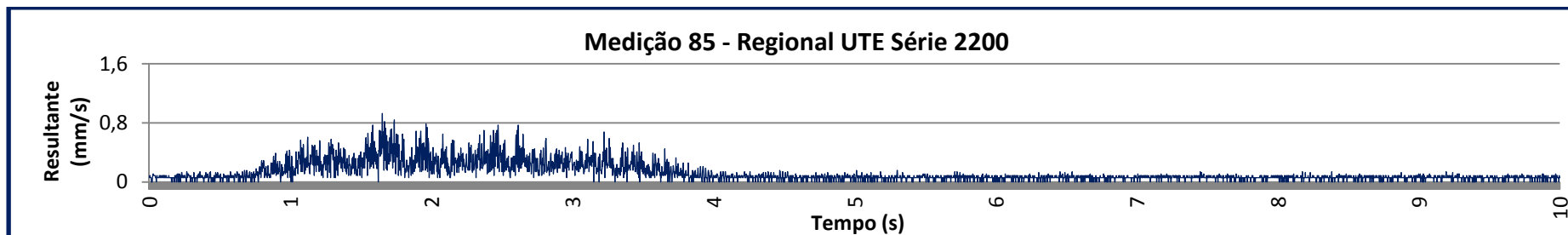


Figura 125 - Resultante obtido na medição 85.

Tipo de material circulante: Regional (Série 2200); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros

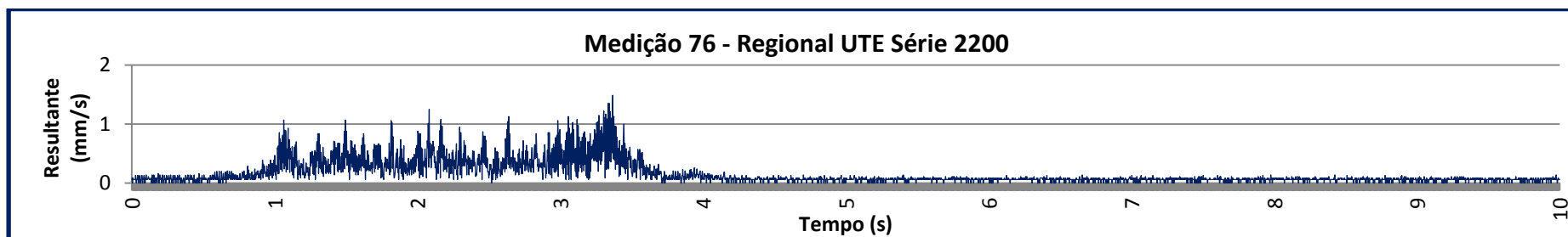


Figura 126 - Resultante obtido na medição 76.

Tipo de material circulante: Regional (Série 2200); Sentido: Sul – Norte; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros

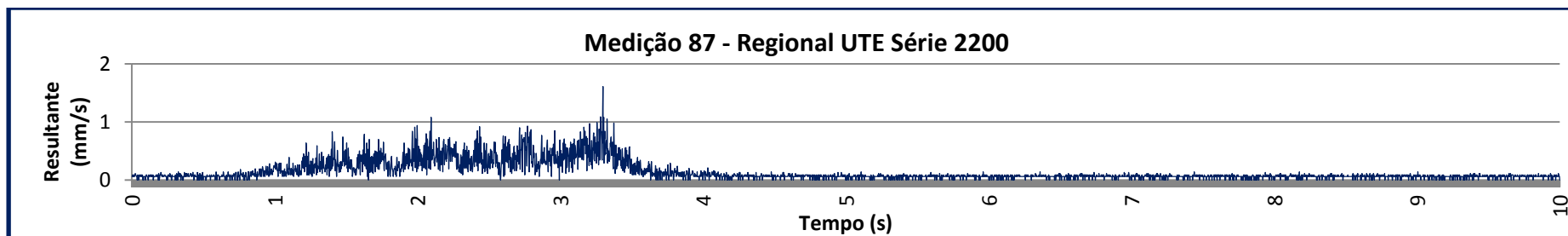


Figura 127 - Resultante obtido na medição 87.

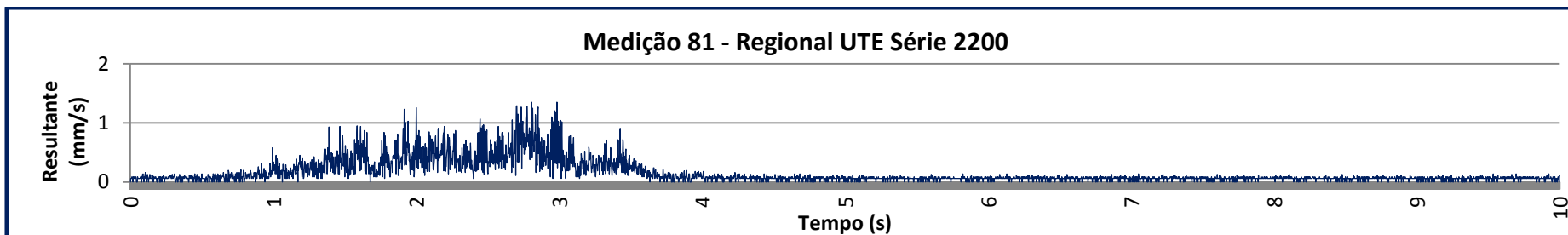


Figura 128 - Resultante obtido na medição 81.

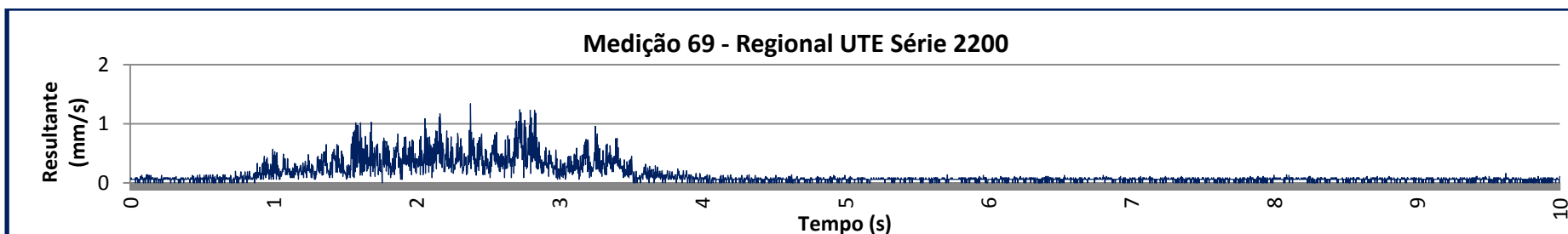


Figura 129 - Resultante obtido na medição 69.

Tipo de material circulante: Mercadorias (LOC 4700, LOC 5600, LOC 6000); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 11,5 metros

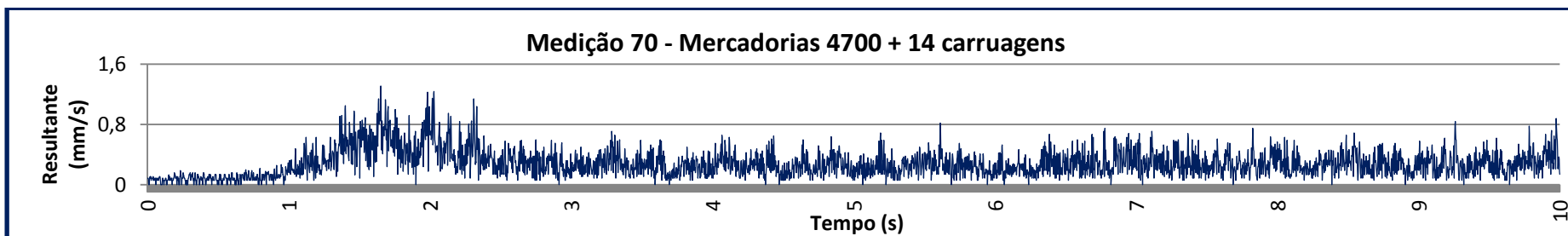


Figura 130 - Resultante obtido na medição 70.

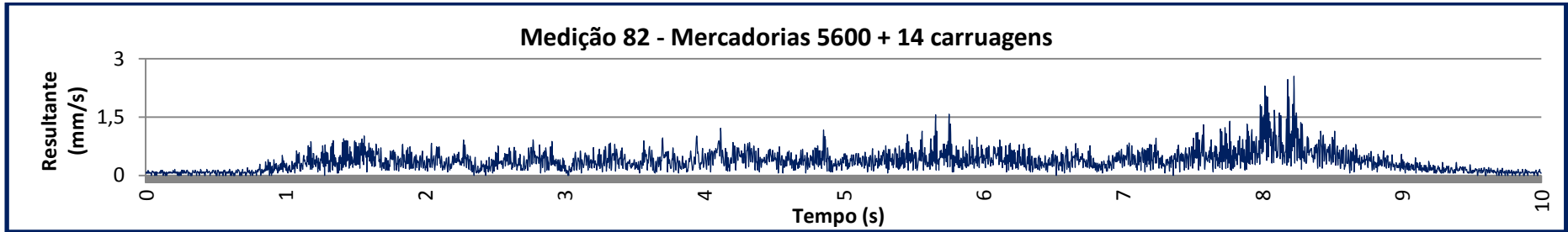


Figura 131 - Resultante obtido na medição 82.

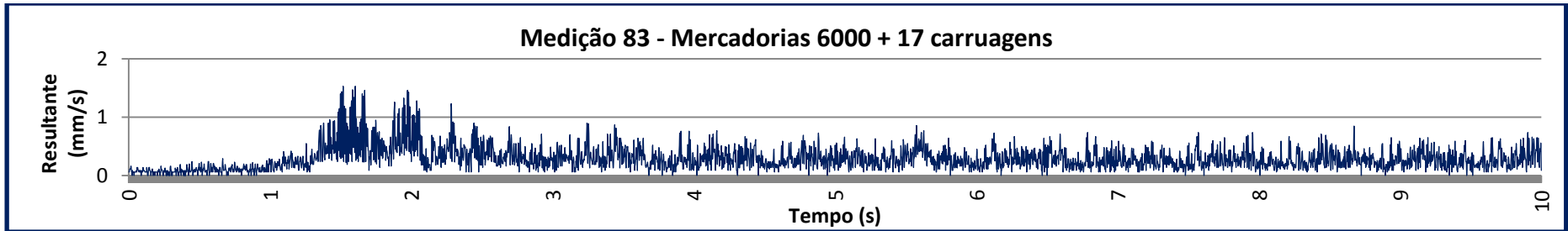


Figura 132 - Resultante obtido na medição 83.

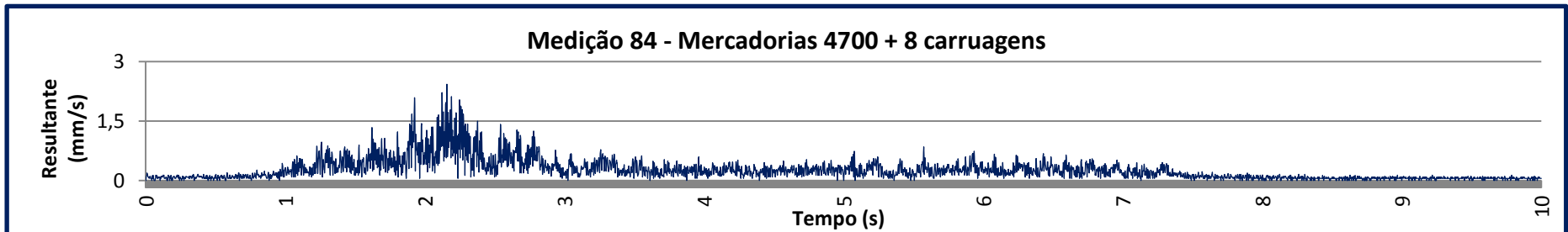


Figura 133 - Resultante obtido na medição 84.

Tipo de material circulante: Mercadorias (LOC 4700, LOC 5600); Sentido: Sul – Norte; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros

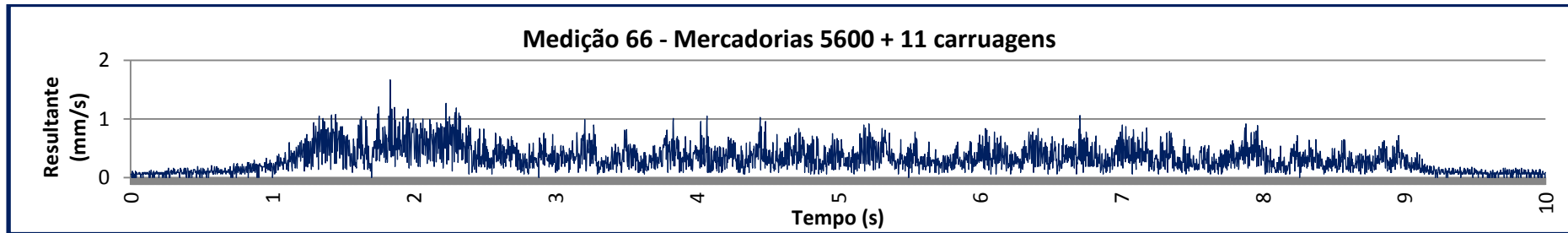


Figura 134 - Resultante obtido na medição 66.

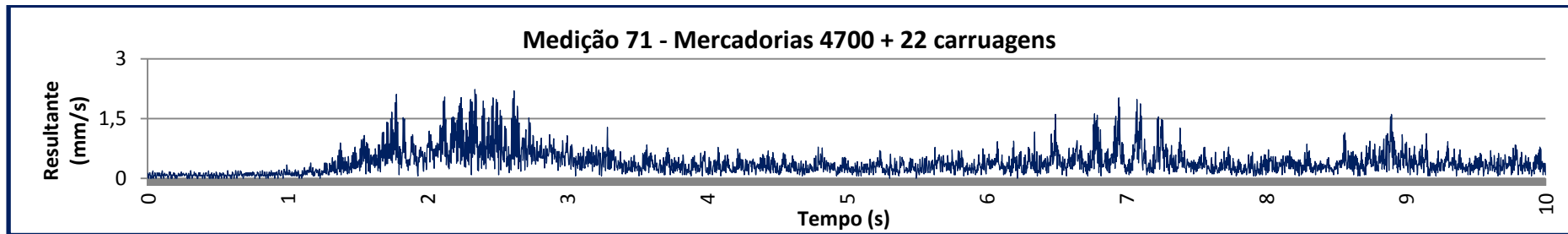


Figura 135 - Resultante obtido na medição 71.

Tipo de material circulante: Alfa Pendular (Série 4000); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 11,5 metros

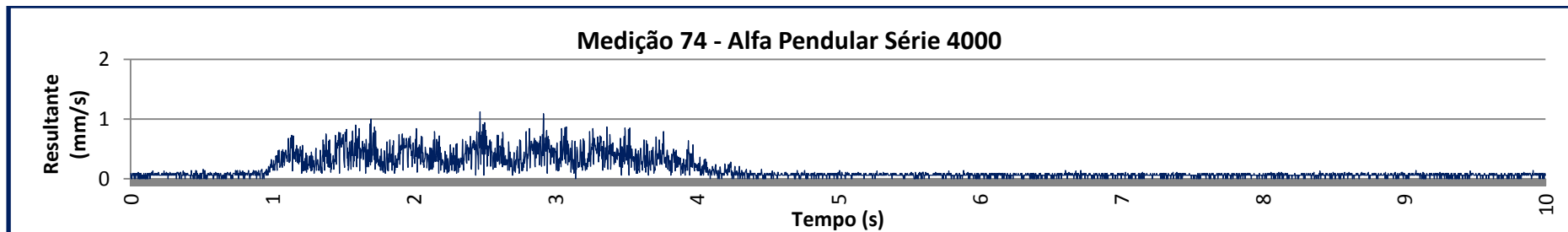


Figura 136 - Resultante obtido na medição 74.

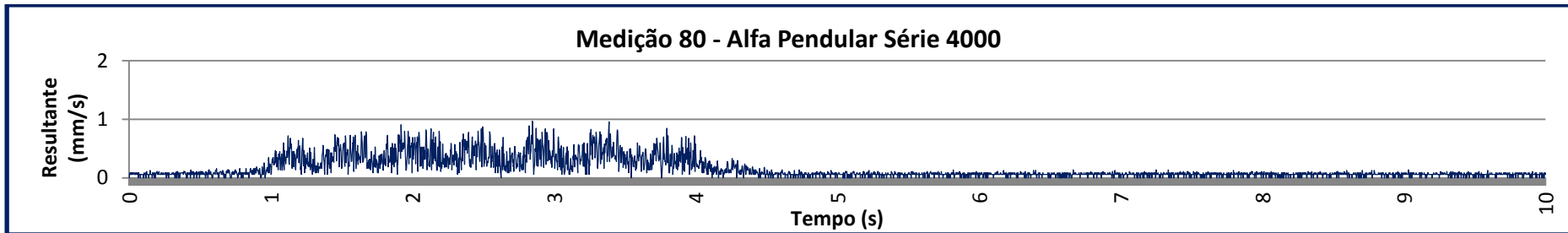


Figura 137 - Resultante obtido na medição 80.

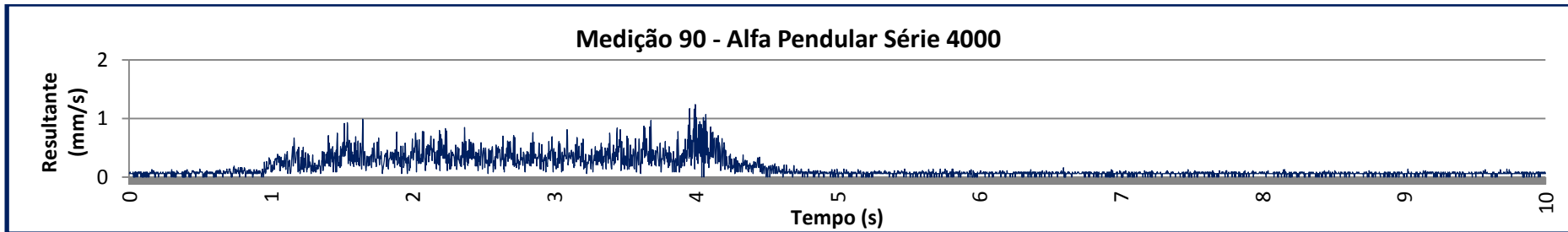


Figura 138 - Resultante obtido na medição 90.

**Tipo de material circulante: Alfa Pendular (Série 4000); Sentido: Norte – Sul; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros**

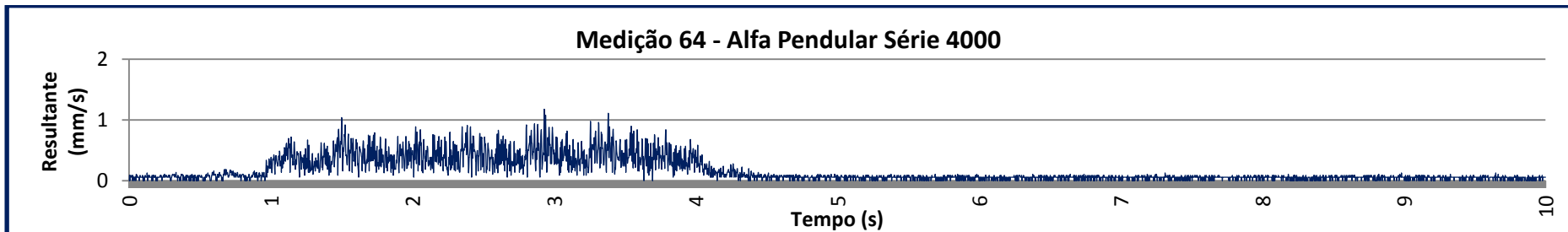


Figura 139 - Resultante obtido na medição 64.

Tipo de material circulante: Alfa Pendular (Série 4000); Sentido: Sul – Norte; Distância ao eixo da linha ferroviária: 8 metros

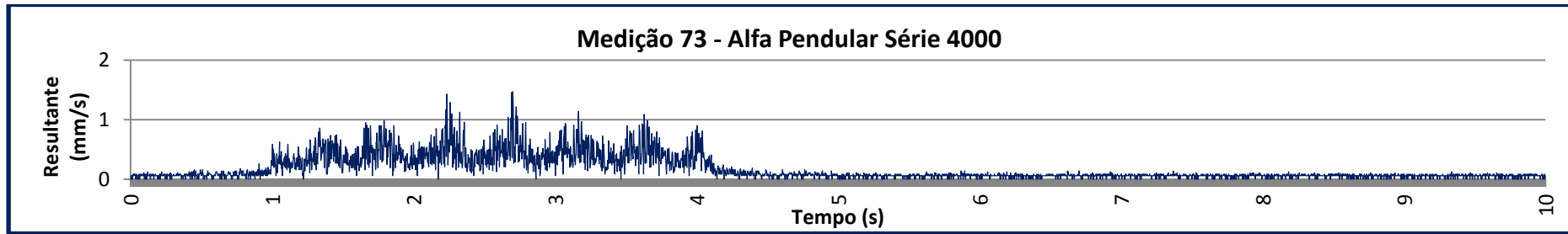


Figura 140 - Resultante obtido na medição 73.

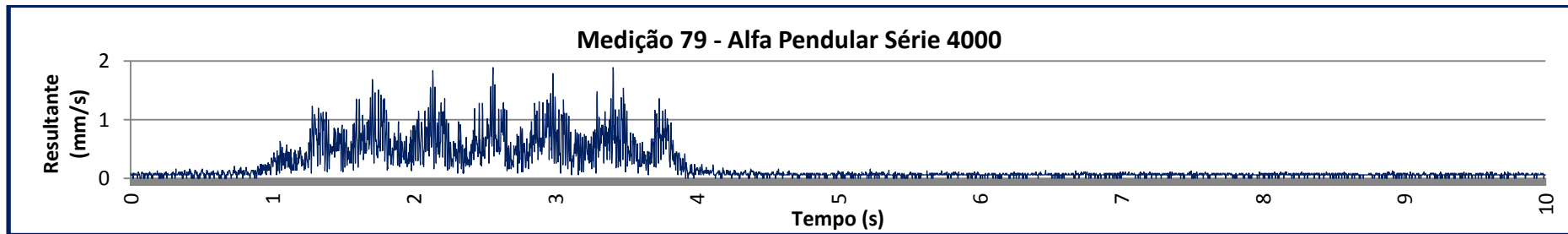


Figura 141 - Resultante obtido na medição 79.

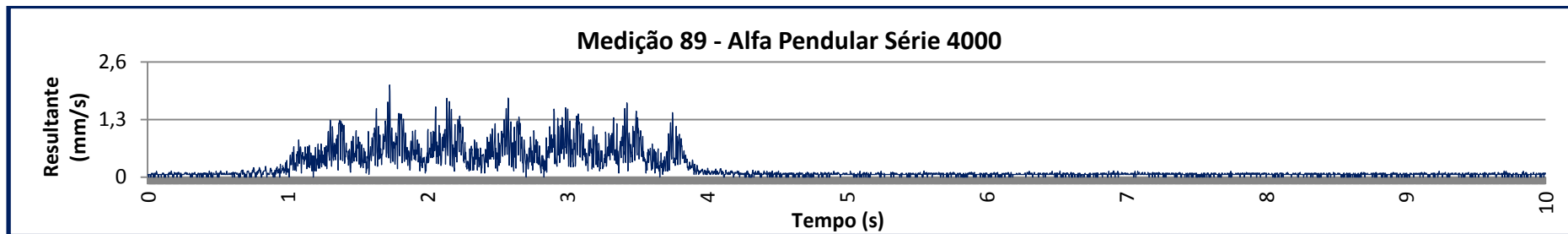


Figura 142 - Resultante obtido na medição 89