

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Desenvolvimentos sobre Métodos de Previsão, Medição,  
Limitação e Avaliação em Ruído e Vibração Ambiente**

Vitor Carlos Tadeia Rosão

Doutoramento: Ciências do Mar, da Terra e do Ambiente.

Ramo: Ciências e Tecnologia do Ambiente.

Especialidade: Acústica.

2011

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Desenvolvimentos sobre Métodos de Previsão, Medição,  
Limitação e Avaliação em Ruído e Vibração Ambiente**

Vitor Carlos Tadeia Rosão

Tese orientada por Prof. Doutor Eusébio Conceição

Doutoramento: Ciências do Mar, da Terra e do Ambiente.

Ramo: Ciências e Tecnologia do Ambiente.

Especialidade: Acústica.

2011

## Resumo

A Tese incide sobre Ruído e Vibração Ambiente e, nesse âmbito, apresenta desenvolvimentos de:

1. Previsão, nomeadamente, harmonização das probabilidades majorativas de ocorrência meteorológica para Portugal, influência do Espectro no dimensionamento das Barreiras Acústicas, importância e conceito de Velocidade Contínua Equivalente, método inovador de determinação da Área de Permissão Acústica para Fontes Pontuais, método alternativo para cálculo previsionial das características tonais, método expedito de determinação da Área de Influência Acústica de Fontes Fixas, Rodovias (ruído) e Ferrovias (ruído e vibração), e método de previsão do Tempo de Reverberação para Absorção Sonora irregular (as aplicações informáticas desenvolvidas estão disponíveis em <http://doutoramento.schiu.com/>);
2. Medição, nomeadamente, método inovador de aferição da regularidade da passagem de veículos rodoviários para determinação de  $L_{Max}$ , método inovador de contagem de tráfego e medição da velocidade distinguindo o tipo de veículo através de Sonómetros, especificidades acústicas das juntas de dilatação e da monitorização de Ferrovias (incluindo cálculo de incertezas), eficácia variável de uma Barreira Acústica ao longo do dia, representatividade das medições de ruído, e importância e método de caracterização do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão com exemplificação com o uso da Fonte Sonora Dodecaédrica desenvolvida no âmbito da Tese;
3. Previsão relacionando medições, nomeadamente, método relacional por recurso a sistemas de equações relacionando as variáveis com influência, e método de previsão da vibração através da determinação *in situ* das funções de transferência de vibração dos locais;
4. Limitação, nomeadamente, sugestões fundamentadas de complementação e correcção do DL 9/2007 e do DL 96/2008, assim como sugestão de Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência e para limitação da Vibração Ambiente;
5. Avaliação, nomeadamente, critérios de objectivação da qualificação e análise comparativa de impactes (ruído e vibração), assim como sugestões de complementação e correcção dos Critérios de Representatividade IPAC e dos Critérios de Amostragem LNEC.

**Palavras Chave:** Acústica Ambiental; Ruído Ambiente Exterior; Ruído Ambiente Interior; Vibração Ambiente; Previsão Acústica; Medição Acústica; Previsão Acústica Relacionando Medições; Limitação e Avaliação Acústica.

## Abstract

The Thesis focuses on Environmental Noise and Vibration, and in this context, presents developments about:

1. Prevision, namely, harmonization of maximal probability of meteorological occurrences for Portugal, influence of the noise Spectrum in the design of Noise Barriers, importance concept of Equivalent Continuous Speed, new method to determine the Acoustics Permission Area for Point Sources, alternative method to estimate the tonal characteristics, fast method to estimate the Acoustics Influence Area for Stationary Sources and Roads (noise) and Railways (noise and vibration), and forecasting method for Reverberation Time on irregular Sound Absorption (the software developed is available at <http://doutoramento.schiu.com/>);
2. Measurement, namely, new method to check the regularity of the pass by of road vehicles to determine  $L_{Max}$ , new method of traffic counting and speed measurement distinguishing the type of vehicle with Sound Level Meters, acoustics characteristics of expansion joints and railways monitorization (including calculation of uncertainty), more than one insertion loss for an Noise Barrier along the day, representativeness of the noise measurements, and the importance and characterization method of Tapping Machine Airborne Noise with an example by using the Dodecahedral Noise Source developed in this Thesis;
3. Prevision relating measurements, namely, relational method by using systems of equations relating the variables that have influence, and method for predicting the vibration through *in situ* determination of vibration transfer functions of the sites;
4. Limitation, namely, suggestions and reasoned to amend DL 9/2007 and DL 96/2008 (Portuguese legislation), as suggested a Good Practice Rule for Low Frequency Noise and for Environmental Vibration limitation;
5. Assessment, namely, objectification criteria for qualification and comparative analysis of impacts (noise and vibration), as suggestion and reasoned to amend IPAC Representativeness Criteria and LNEC Sampling Criteria.

**Keywords:** Environmental Acoustics; Outside Environmental Noise; Inside Environmental Noise; Environmental Vibration; Acoustics Forecast; Acoustics Measurement; Acoustics Forecast Relating Measurements; Limitation and Assessment in Acoustics.

**Dedico este trabalho à minha Esposa**

**Dedico este trabalho à minha Mãe**

**Dedico este trabalho à memória de meu Pai.**

**Dedico este trabalho à memória do Eng.º José Mateus**

### **Agradecimentos**

À minha família, em especial à minha Mãe (Maria Rosa), pela capacidade de ver mais longe, para me incentivar e encaminhar no estudo, e à Zélia, pelo amor firme, capacidade de me chamar à “terra”, quando quero voar longe demais, e preciosa ajuda em todas as horas e necessidades da minha vida.

Aos meus Mestres na acústica: Professor Doutor Pedro Martins da Silva e Eng.<sup>a</sup> Odete Domingues, com quem trabalhei e aprendi durante os 5 anos iniciais da minha vida profissional em acústica, e Fernando Mateus e José Carvalho, com quem aprendi a fazer medições de ruído, nos remotos e memoráveis (para mim) anos de 1997/1998.

Aos ex. alunos finalistas do curso de Engenharia do Ambiente, da ex. Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente (actualmente inserida na Faculdade de Ciências e Tecnologia) da Universidade do Algarve, que tiveram a coragem (e sabedoria) de efectuar um trabalho de fim de curso na área de acústica, direccionado para os interesses do Doutoramento, e que me fizeram, algumas vezes sem saberem, aprender coisas novas em acústica que nem sequer imaginava: Eng.<sup>a</sup> Ana Rita Cabrita, Eng.<sup>a</sup> Sandra Correia, Eng.<sup>a</sup> Soraia Pereira, Eng.<sup>o</sup> Rui Leonardo e Eng.<sup>o</sup> Rui Silva. Também e de igual feição, ainda que de forma não terminada, ao Eng.<sup>o</sup> Ricardo Pereira, que iniciou comigo, sem concluir, um trabalho de fim de curso em Engenharia Física na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, na área de interesse do Doutoramento.

Ao meu amigo Pedro Guerreiro pelos artigos que me arranjou e pela impagável ajuda na tradução profissional para Inglês de artigos que elaborei, no âmbito do presente trabalho.

Aos colegas que tiveram a gentileza de partilhar e elaborar comigo alguns artigos associados ao presente trabalho: Arqt.<sup>a</sup> Christiane Grimm, Arqt.<sup>a</sup> Lucia Házyová, Doutora Maria de Fátima Neto, Doutora Teresa Marques, Dr. Carlos Rosão, Doutora Sónia Antunes, Eng.<sup>a</sup> Ana Falcão, Eng.<sup>a</sup> Margarida Braga, Eng.<sup>o</sup> Carlos César Rodrigues, Eng.<sup>o</sup> José Dias, Eng.<sup>o</sup> Liliano Abreu, Eng.<sup>o</sup> Rui Leonardo e Prof. Doutor Eusébio Conceição.

Ao Dr. Rui Lopes pela ajuda geral e ao Eng.<sup>o</sup> Luís Abreu pela ajuda específica nas bases de dados, exemplos e figuras.

Ao Dr. Francisco Alexandre pela mão-de-obra na elaboração da Fonte Sonora Dodecaédrica e ao Tio Eduardo Rodrigues pela mesma razão e ainda por todos os outros utensílios que produziu e que foram utilizados no trabalho.

Ao meu amigo João Rosado pela grande disponibilidade e auxílio nas partes de electrónica e *hardware* deste trabalho.

Ao meu irmão Carlos Manuel pelo enorme apoio na parte de *software* deste trabalho, e não só.

Aos meus vizinhos, que aguentaram, sem chamar as autoridades, o ruído e vibrações que produzi na minha casa durante a realização de algumas experiências.

À Universidade do Algarve, à MRA Instrumentação e à SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído, a cedência de alguns dos equipamentos/utensílios/*softwares* utilizados no trabalho, a Carlos Rosado a cedência do maço usado para produzir vibrações, à Transmedronhal, Transportes de Mercadorias, na pessoa do seu Director Fernando Moleiro, e em especial a Nelson Ramos, a disponibilidade e condução do veículo Pesado utilizado no presente trabalho, e à Direcção da Escola E.B. 2 3 Dr. António João Eusébio (Moncarapacho), na pessoa da sua Directora Dr.<sup>a</sup> Juliana Feitor, a disponibilização do campo de jogos para realização das medições da potência/directividade/reverberação de Fontes Sonoras sobre superfície reflectora.

Ao meu Orientador Professor Doutor Eusébio Conceição pela paciência, compreensão e sabedoria que revelou ao longo dos longos 5/6 anos de trabalho. Bem-haja.

## Índice Geral

1. Introdução .....	16
2. Relevância dos desenvolvimentos .....	19
3. Métodos analisados, resumos e análises particulares.....	28
3.1. Ruído Ambiente Exterior .....	28
3.1.1. Probabilidades de ocorrência meteorológica para Portugal.....	29
3.1.1.1. Valores de recurso.....	30
3.1.1.2. Pertinência da obtenção de valores específicos dos locais.....	33
3.1.2. Influência do Espectro no dimensionamento das Barreiras Acústicas .....	34
3.1.2.1. Atenuação produzida por uma Barreira Acústica .....	35
3.1.2.2. Influência do Espectro .....	36
3.1.2.3. Dimensões e custos das Barreiras Acústicas.....	40
3.1.3. Particularidades da velocidade de circulação nas previsões de ruído.....	42
3.1.4. NP ISO 1996.....	46
3.1.4.1. Resumo.....	46
3.1.4.2. Som Incidente e Ponto de Avaliação .....	50
3.1.5. ISO 10847.....	52
3.1.5.1. Resumo.....	52
3.1.5.2. Mais do que uma eficácia.....	53
3.1.6. Representatividade das medições .....	56
3.1.6.1. Tipos de representatividade e estratégias de medição .....	56
3.1.6.2. Variáveis a controlar .....	58
3.1.6.3. Períodos mais representativos em função da duração e dos níveis sonoros .....	62
3.1.6.4. Medições contínuas ou quase contínuas .....	68
3.1.6.5. Viabilidade de utilização de sistemas de medição de Classe 2.....	72
3.1.7. Tipos de limites legais existentes na Europa .....	73
3.1.8. Perspectivas de limitação futura de Ruído Ambiente.....	81
3.1.9. Valores máximos para Rodovias, Ferrovias e Aeroportos .....	83
3.1.10. Ruído de Baixa Frequência.....	86
3.1.10.1. Regra da Grã-Bretanha.....	86
3.1.10.2. Potenciais Fontes de Ruído de Baixa Frequência .....	87

3.2. Ruído Ambiente Interior .....	88
3.2.1. EN 12354-6.....	90
3.2.1.1. Resumo.....	90
3.2.1.2. Comparação das previsões do Tempo de Reverberação.....	96
3.2.2. Ruído Aéreo da Máquina de Percussão .....	98
3.2.3. DL 129/2002 e DL 96/2008.....	100
3.2.3.1. Relações entre Isolamento Padronizado e Normalizado.....	100
3.2.3.2. Relações entre Isolamento Padronizado, Normalizado e Bruto.....	104
3.2.3.3. Comparação das exigências do DL 129/2002 e do DL 96/2008.....	105
3.3. Vibração Ambiente.....	106
3.3.1. Método Sueco de previsão de vibração .....	107
3.3.1.1. Resumo.....	107
3.3.1.2. Adaptação ao caso Português.....	108
3.3.2. Critérios de Vibração LNEC .....	108
3.3.2.1. Resumo.....	108
3.3.2.2. Selecção dos valores limite .....	109
3.3.3. Critérios de Vibração USA.....	109
3.3.3.1. Incomodidade humana devida à vibração e ao ruído estrutural.....	109
3.3.3.2. Danos nos edifícios .....	110
3.3.3.3. Interferência no funcionamento de equipamentos sensíveis.....	111
4. Erros, inconsistências e indefinições encontrados .....	112
4.1. Ruído Ambiente Exterior .....	112
4.1.1. Erros.....	112
4.1.2. Insuficiência dos dados de base existentes .....	113
4.1.3. Inconsistência na probabilidade de ocorrência meteorológica para Portugal.....	115
4.1.4. Um só espectro de emissão sonora para o tráfego rodoviário .....	115
4.1.5. Impossibilidade de previsão das características tonais.....	115
4.1.6. Impossibilidade de previsão do ruído das juntas de dilatação.....	116
4.1.7. Uma só eficácia para uma Barreira Acústica.....	116
4.1.8. Indefinição quantitativa das ocorrências a desprezar na medição de $L_{Max}$ à passagem de veículos rodoviários.....	117
4.1.9. Não estabelecimento de um desvio padrão típico para tráfego ferroviário .....	117

4.1.10. Pouca incidência de sistemas de monitorização contínua e aparente “desvalorização” de equipamentos de Classe 2 .....	118
4.1.11. Insuficiências nos Critérios de Representatividade IPAC .....	118
4.1.12. Inconsistência na definição de Ruído Ambiente .....	119
4.1.13. Ambiguidade no conceito de Espaço de Lazer .....	120
4.1.14. Indefinição de Som Incidente e do Ponto de Avaliação .....	120
4.1.15. Indefinição relativamente a sensibilidades distintas em cada período de referência e ao fim-de-semana .....	121
4.1.16. Ambiguidades do Critério de Incomodidade .....	123
4.1.16.1. Ambiguidade na definição de Duração Acumulada .....	124
4.1.16.2. Mês mais crítico em função da emissão e não do diferencial .....	126
4.1.16.3. Protecção não proporcional .....	126
4.1.17. Indefinição na relação das incertezas com a limitação .....	128
4.1.18. Indefinição de limites para Ruído de Vizinhança .....	129
4.1.19. Limites só em termos de valores médios .....	130
4.1.20. Limites independentes do tipo de Fonte .....	130
4.1.21. Regra de Boa Prática não vinculativa .....	130
4.1.22. Indefinição de critérios objectivos de análise para Ruído de Baixa Frequência .....	131
4.1.23. Indefinição de critérios objectivos de qualificação de impactes .....	132
4.1.24. Indefinição de critérios objectivos de análise comparativa de impactes .....	135
4.2. Ruído Ambiente Interior .....	136
4.2.1. Erros .....	136
4.2.2. Previsão do isolamento a sons de percussão de baixo para cima .....	136
4.2.3. Tempo de reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular .....	137
4.2.4. Uso de Fonte omnidireccional nas medições de isolamento sonoro de fachada .....	137
4.2.5. Ambiguidade do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão .....	138
4.2.6. Indefinição da limitação do Tempo de Reverberação próprio da Fonte de impulso .....	138
4.2.7. Indefinição no cálculo do Nível de Avaliação Padronizado .....	138
4.2.8. Não referência à Área de Absorção Sonora Equivalente .....	139
4.2.9. Ambiguidade no conceito de Zona de Estar .....	139
4.2.10. Indefinição de limites para Ruído de Vizinhança .....	140
4.2.11. Aplicação ambígua do Critério de Incomodidade .....	140

4.2.12. Requisito dúbio de isolamento Sonoro de fachada para escritórios .....	140
4.2.13. Inexistência de Requisito de isolamento Sonoro de fachada para refeitórios em escolas e hospitais .....	141
4.2.14. Pouca protecção dos berçários .....	141
4.2.15. DL 129/2002 e DL 96/2008.....	141
4.3. Vibração Ambiente.....	142
4.3.1. Inexistência de método internacional normalizado de previsão da vibração .....	142
4.3.2. Inexistência de regime metroológico legal específico para Vibrómetros.....	142
4.3.3. Indefinição do parâmetro e frequências de análise.....	142
4.3.4. Indefinição de limites para monumentos e edifícios sensíveis.....	143
5. Sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos .....	144
5.1. Ruído Ambiente Exterior .....	144
5.1.1. Previsão e medição .....	144
5.1.1.1. Sugestões gerais .....	144
5.1.1.2. Desenvolvimentos particulares .....	146
5.1.2. Limitação .....	147
5.1.2.1. Introdução .....	147
5.1.2.2. Alteração do DL 9/2007.....	147
5.1.2.3. Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência .....	153
5.1.3. Avaliação .....	155
5.1.3.1. Introdução .....	155
5.1.3.2. Alteração dos Critérios de Representatividade IPAC .....	156
5.1.3.3. Quantificação da qualificação de impactes .....	157
5.1.3.4. Quantificação da análise comparativa.....	161
5.2. Ruído Ambiente Interior .....	167
5.2.1. Previsão e medição .....	167
5.2.1.1. Sugestões gerais .....	167
5.2.1.2. Desenvolvimentos particulares .....	168
5.2.2. Limitação .....	168
5.2.2.1. Introdução .....	168
5.2.2.2. Alteração do DL 96/2008.....	168
5.2.3. Avaliação .....	169

5.2.3.1. Introdução .....	169
5.2.3.2. Alteração dos Critérios de Amostragem LNEC.....	169
5.3. Vibração Ambiente.....	170
5.3.1. Previsão e medição .....	170
5.3.1.1. Sugestões gerais .....	170
5.3.1.2. Desenvolvimentos particulares .....	171
5.3.2. Limitação .....	171
5.3.2.1. Introdução .....	171
5.3.2.2. Regra de Boa Prática.....	171
5.3.3. Avaliação .....	172
5.3.3.1. Introdução .....	172
5.3.3.2. Quantificação da qualificação de impactes .....	172
5.3.3.3. Quantificação da análise comparativa.....	173
6. Métodos e acessibilidades desenvolvidos .....	174
6.1. Previsão .....	174
6.1.1. Introdução .....	174
6.1.2. Método de determinação das Áreas de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais .....	175
6.1.2.1. Caracterização do Ruído Residual .....	176
6.1.2.2. Caracterização da emissão sonora média dos Aerogeradores.....	176
6.1.2.3. Utilização do princípio da Reciprocidade Acústica .....	177
6.1.3. Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior .....	182
6.1.3.1. Área de Influência Acústica .....	182
6.1.3.2. Variação dos níveis sonoros com a distância à Fonte .....	182
6.1.3.3. Simplificações .....	183
6.1.3.4. Gráficos de referência .....	184
6.1.3.5. Valores de referência .....	188
6.1.3.6. Correções aos gráficos e valores de referência .....	188
6.1.3.7. Exemplos.....	192
6.1.4. Método de previsão expedita para Vibração Ambiente.....	193
6.1.5. Método alternativo de previsão de características tonais .....	196
6.1.6. Aplicações informáticas.....	199

6.1.6.1. Previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior .....	199
6.1.6.2. Previsão do Tempo de Reverberação .....	201
6.2. Medição .....	201
6.2.1. Introdução .....	201
6.2.2. Juntas de dilatação .....	203
6.2.2.1. Variáveis físicas com influência e sua relação com os níveis sonoros produzidos .....	203
6.2.2.2. Características específicas da emissão e da propagação sonora .....	204
6.2.2.3. Relação dos níveis sonoros percebidos com a incomodidade experimentada e com os limites legais .....	204
6.2.2.4. Medidas de redução de ruído direccionadas .....	205
6.2.2.5. Especificidades da monitorização acústica associada .....	205
6.2.2.6. Equipamento utilizado nas medições .....	207
6.2.2.7. Teoria e medições de ruído de impacto em laboratório .....	208
6.2.2.8. Medições <i>in situ</i> .....	209
6.2.2.9. Influência do tipo de veículo .....	211
6.2.2.10. Influência da velocidade na Junta 1 .....	212
6.2.2.11. Influência da velocidade na Junta 2 .....	213
6.2.2.12. Influência da velocidade na junta 3 .....	213
6.2.2.13. Comparação Junta 1, Junta 2 e Junta 3 .....	214
6.2.2.14. Influência dos níveis sonoros individuais impulsivos no nível sonoro global .....	215
6.2.3. Método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos .....	216
6.2.3.1. Equações base .....	217
6.2.3.2. Equipamento utilizado nas medições .....	218
6.2.3.3. Resultados das medições <i>in situ</i> .....	219
6.2.4. Velocímetro e contador de tráfego sonoros .....	220
6.2.4.1. Desenvolvimentos semelhantes .....	221
6.2.4.2. Especificações da medição <i>in situ</i> .....	221
6.2.4.3. Valores obtidos para o tráfego normal .....	222
6.2.4.4. Determinação dos eventos associados a passagem de veículos .....	224
6.2.4.5. Determinação da velocidade de circulação .....	225
6.2.4.6. Determinação do tipo de veículo .....	225
6.2.5. Método de monitorização do ruído de tráfego ferroviário .....	228

6.2.5.1. Desvio padrão de 2 situações distintas.....	230
6.2.5.2. $L_{eq}$ Global.....	236
6.2.5.3. Categorias com maior influência e incerteza.....	238
6.2.5.4. Metodologia de monitorização.....	241
6.2.6. Método de medição do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão.....	242
6.2.6.1. Fonte Sonora Dodecaédrica utilizada.....	242
6.2.6.2. Metodologia proposta.....	243
6.2.6.3. Ensaio realizado.....	243
6.2.6.4. Informação do Ruído Aéreo nas especificações das Máquinas de Percussão.....	246
6.3. Previsão relacionando medições.....	247
6.3.1. Introdução.....	247
6.3.2. Ruído Ambiente Exterior.....	248
6.3.2.1. ISO 9613-2.....	249
6.3.2.2. Método Relacional.....	249
6.3.2.3. Regras Gerais do Método Relacional.....	251
6.3.2.4. Determinação do nível de potência sonora.....	251
6.3.2.5. Determinação do factor de atenuação.....	252
6.3.2.6. Determinação do nível sonoro no Receptor genérico.....	252
6.3.2.7. Soluções Gerais para incógnitas Independentes.....	253
6.3.2.8. Cálculos indirectos.....	254
6.3.2.9. Método Relacional para subvariáveis.....	256
6.3.2.10. Exemplos simples de aplicação.....	256
6.3.3. Vibração Ambiente.....	263
6.3.3.1. Objectivo do desenvolvimento.....	264
6.3.3.2. Método.....	264
6.3.3.3. Ensaio realizados.....	267
6.3.3.4. Impulso induzido.....	268
6.3.3.5. Comboios.....	269
6.3.3.6. Desvios entre as previsões e as medições.....	271
7. Conclusões.....	272
Referências.....	322
Referências de <i>sites</i> .....	335

## Apêndices

A1. Demonstrações .....	279
A1.1. Relação entre $L_{eq}$ , $L_E$ , $L_{Max}$ , $L_w$ e $L_{w/m}$ para uma Fonte Pontual em movimento .....	280
A1.2. Relação entre $L_{eq}$ , $L_E$ , $L_{Max}$ , $L_w$ e $L_{w/m}$ para uma Fonte Linear em movimento .....	284
A1.3. Propagação de incerteza no cálculo de $L_{eq,Global}$ .....	288
A1.4. Relação entre factor de atenuação pontual e linear para vibração ambiente .....	290
A2. Espectros teóricos de recurso .....	293
A3. Comparação de mapas de ruído em diferentes condições meteorológicas .....	295
A4. Listagem dos equipamentos, acessórios e Softwares utilizados no presente trabalho .....	304
A5. Símbolos.....	306
A6. Siglas .....	314
A7. Índice de Quadros .....	317
A8. Índice de Figuras .....	319

## 1. Introdução

O presente trabalho consistiu na análise, resumo e comentário de diferentes métodos institucionais existentes (normas, legislação e outros documentos oficiais de organismos credenciados), estudo dos principais fundamentos teóricos (incluindo efectivação de demonstrações julgadas necessárias e relevantes), efectivação de diferentes desenvolvimentos de automatização e acessibilidade (foram desenvolvidas aplicações informáticas, e um acervo bibliográfico, disponíveis na referência/site [e1]), e desenvolvimentos de aplicação específica, de melhoria técnica e/ou funcional, e/ou de criação de novos métodos, em termos de previsão, medição, limitação e avaliação em Acústica Ambiental (Ruído e Vibração Ambiente).

Sendo a Acústica o ramo da física que trata das leis dos sons e dos fenómenos que lhe são concernentes, e o Ambiente o que rodeia ou envolve por todos os lados e constitui o meio em que se vive, os métodos aqui tratados são os métodos científicos associados à Acústica (ruído e vibração) dos dois principais meios onde se vive:

1. Ambiente exterior: ar livre;
2. Ambiente interior: dentro dos edifícios.

Assim, ao longo de todo o trabalho, Acústica significa não só ruído mas também vibração, e Acústica Ambiental significa não só a Acústica do meio ambiente exterior mas também a Acústica do meio ambiente interior.

Distinguem-se assim as seguintes 3 categorias no presente trabalho:

1. Ruído Ambiente Exterior;
2. Ruído Ambiente Interior;
3. Vibração Ambiente (Exterior e Interior).

Distinguem-se também as seguintes 4 subcategorias, integradas no título do trabalho:

1. Previsão;
2. Medição;
3. Limitação;
4. Avaliação.

O trabalho está dividido nos seguintes capítulos, para além desta Introdução:

2. Relevância dos desenvolvimentos: onde se listam e evidenciam os desenvolvimentos efectuados;
3. Métodos analisados, resumos e análises particulares: onde se listam os métodos de previsão, medição, limitação e avaliação, em Ruído e Vibração Ambiente considerados, e apresentam alguns resumos e algumas análises particulares julgados relevantes, distinguindo as seguintes 3 partes: Ruído Ambiente Exterior (capítulo 3.1), Ruído Ambiente Interior (capítulo 3.2) e Vibração Ambiente (capítulo 3.3);
4. Erros, inconsistências e indefinições encontrados: onde se explicitam, com base na análise aprofundada efectuada ao sistema de previsão, medição, limitação e avaliação em Ruído e Vibração Ambiente, os principais erros, inconsistências e indefinições encontrados, os quais direccionam e justificam os desenvolvimentos subsequentes e encontram-se divididos nas 3 partes fundamentais do trabalho (“4.1 Ruído Ambiente Exterior”, “4.2 Ruído Ambiente Interior” e “4.3 Vibração Ambiente”);
5. Sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos: onde se expõem as sugestões de melhoria, complementação e inovação do sistema analisado, divididas pelas 3 partes (“5.1 Ruído Ambiente Exterior”, “5.2 Ruído Ambiente Interior” e “5.3 Vibração Ambiente”) e 4 subpartes (previsão, medição, limitação e avaliação) fundamentais do trabalho, em consonância com os erros, inconsistências e indefinições detectados;
6. Métodos e acessibilidades desenvolvidos: onde se expõem os novos métodos e as aplicações informáticas desenvolvidos;
7. Conclusões: onde se apresentam as conclusões do presente trabalho;

Constam ainda na parte final os seguintes 8 Apêndices e as seguintes 2 listas de referências:

1. A1 Demonstrações: onde se efectuam demonstrações de relações matemáticas importantes para o trabalho.
2. A2 Espectros teóricos de recurso: onde se apresentam Espectros teóricos normais de recurso e Espectros específicos propostos no âmbito do presente trabalho.
3. A3 Comparação de mapas de ruído em diferentes condições meteorológicas: onde se expõem as diferenças dos Mapas de Ruído, em Campo Livre, para diferentes condições meteorológicas.

4. A4 Listagem dos equipamentos, acessórios e Softwares utilizados no presente trabalho: onde se listam os equipamentos, acessórios e *Softwares* utilizados.
5. A5 Símbolos: onde se listam os Símbolos principais usados no trabalho.
6. A6 Siglas: onde se listam as Siglas principais usadas no trabalho.
7. A7 Índice de Quadros: onde se listam os Quadros existentes na Tese.
8. A8 Índice de Figuras: onde se listam as Figuras existentes na Tese.
9. Referências: onde se listam os documentos base do trabalho, numerados sequencialmente, com início em “1”;
10. Referências de sites: onde se listam os *sites* base do trabalho, numerados sequencialmente, com prefixo “e” e início em “e1”.

O objectivo do trabalho é assim a efectivação de desenvolvimentos sobre métodos de previsão, medição, limitação e avaliação em Acústica Ambiental, que contribuam para a inovação e evolução, do sistema Português, e do sistema internacional, de Acústica Ambiental.

## 2. Relevância dos desenvolvimentos

Considera-se que o presente trabalho possui 6 tipos de desenvolvimentos, cujas respectivas relevâncias se procuram evidenciar em seguida.

### 1. Desenvolvimentos de análise e exposição:

Procurou-se analisar e adquirir com profundidade os fundamentos de Acústica Ambiental, listando os métodos analisados e expondo algumas análises particulares originais e resumos julgados relevantes (capítulo 3), nomeadamente:

- Em termos de Ruído Ambiente Exterior:
  - Capítulo “3.1.1 Probabilidades de ocorrência meteorológica para Portugal”:

Não existindo normalmente informação sobre as probabilidades, com influência acústica, de ocorrência meteorológica em Portugal (gradientes verticais de temperatura e velocidade do vento), são usualmente considerados valores de recurso em conformidade com o recomendado em [1]. Considera-se adequado apresentar neste desenvolvimento de análise (capítulo 3.1.1.1) os cálculos de adaptação dos valores de recurso Europeus [1] aos períodos Portugueses, em conformidade com [2], dada a aparente inexistência de uniformização nesse cálculo [3] (ver capítulo 4.1.3). Considera-se também adequado determinar (capítulo 3.1.1.2) as diferenças de previsão dos níveis sonoros quando são consideradas as probabilidades de ocorrência meteorológica majorativas e as probabilidades de ocorrência meteorológica específicas de locais, para tornar evidente a necessidade de obtenção dessa informação em prol de uma modelação menos sobrevalorizada.
  - Capítulo “3.1.2 Influência do Espectro no dimensionamento das Barreiras Acústicas”:

Uma vez que o método da norma [4] (norma usualmente utilizada em Portugal) possui um único Espectro de emissão sonora do ruído de tráfego rodoviário, analisam-se neste desenvolvimento as diferenças dos níveis sonoros previstos e das dimensões de Barreiras Acústicas, considerando o Espectro padrão (majorativo) da norma [4] e outros Espectros, de forma a tornar evidente a

importância da consideração de Espectros de emissão sonora mais próximos da realidade em prol de uma modelação menos sobrevalorizada.

- Capítulo “3.1.3 Particularidades da velocidade de circulação nas previsões de ruído”:

Sendo a velocidade de circulação dos veículos uma das variáveis consideradas nos modelos de simulação do ruído de tráfego, não existem suficientes evidências relativamente à necessidade de consideração da aqui denominada Velocidade Contínua Equivalente, e não da velocidade média [3], por serem normalmente diferentes, pelo que se considera relevante a abordagem deste desenvolvimento relativamente às possíveis consequências na previsão dos níveis sonoros com valores de velocidade de circulação no modelo diferentes da Velocidade Contínua Equivalente, tornando evidente a necessidade de obtenção de informação mais rigorosa sobre a distribuição de velocidades efectivamente ocorrente, em prol de uma modelação mais rigorosa.

- Capítulo “3.1.4 NP ISO 1996”:

Dada a importância das normas [5,6] considera-se adequado apresentar um resumo (capítulo 3.1.4.1) simples das mesmas evidenciando as principais alterações relativamente à versão anterior [7-9], assim como os principais factores aí expressos com influência na percepção humana e que poderiam, ou deveriam, ser tidos em conta na legislação de Ruído Ambiente [10] (ver capítulo 5.1.2). Evidencia-se ainda (capítulo 3.1.4.2) a importância do esclarecimento do conceito de Som Incidente e da localização do Ponto de Avaliação, o que não consta mas poderia, ou deveria, constar nas normas [5,6] e/ou na legislação [10] de Ruído Ambiente.

- Capítulo “3.1.5 ISO 10847”:

Considera-se adequado apresentar um resumo (capítulo 3.1.5.1) simples da norma [11] direccionado para o facto de apresentar recomendações para a necessidade de consideração de condições meteorológicas idênticas nas medições antes e após a instalação das Barreiras Acústicas mas não apresentar recomendações para a necessidade dessas condições meteorológicas serem

representativas da eficácia que se pretende verificar pois, como se demonstra neste desenvolvimento de análise (capítulo 3.1.5.2), a mesma Barreira Acústica tem normalmente mais do que uma eficácia ao longo do dia.

- Capítulo “3.1.6 Representatividade das medições”:

A representatividade das medições é um dos assuntos mais importantes na medição de Ruído Ambiente, pelo que se procuram analisar alguns aspectos particulares, julgados relevantes, associados à representatividade, nomeadamente circunstâncias específicas que fazem com que prevaleça determinado período, e especificidades da monitorização contínua e viabilidade de utilização de Sonómetros de Classe 2.

- Capítulo “3.1.7 Tipos de limites legais existentes na Europa”:

A análise dos limites legais de Ruído Ambiente existentes na Europa permite perceber com maior propriedade as virtudes e os defeitos dos limites legais existentes em Portugal e direccionar, com fundamento, as alterações necessárias.

- Capítulo “3.1.8 Perspectivas de limitação futura de Ruído Ambiente”:

A análise das perspectivas de limitação futura de Ruído Ambiente na Europa é fundamental para perceber o caminho legislativo que, em princípio, se deve percorrer.

- Capítulo “3.1.9 Valores máximos para Rodovias, Ferrovias e Aeroportos”:

Uma vez que, em conformidade com o que já ocorre em outros Estados Membros da União Europeia (capítulo 3.1.7), se considera relevante estabelecer também em Portugal (capítulo 5.1.2) valores limite não só em termos de valores médios mas também em termos de valores máximos, apresenta-se relevante determinar quais os valores máximos associados a Rodovias, Ferrovias e Aeroportos, de acordo com as bases de dados dos modelos provisórios recomendados pela legislação [12], para guiar esta possível complementação da legislação Portuguesa [10].

- Capítulo “3.1.10 Ruído de Baixa Frequência”:

Dada a “novidade” do Ruído de Baixa Frequência nas novas normas de Ruído Ambiente [5,6] e a ausência de requisitos quantitativos específicos, considera-se relevante apresentar (capítulo 3.1.10.1) os requisitos relativamente recentes associados estabelecidos na Grã-Bretanha [13], e a lista de Fontes (capítulo 3.1.10.2) que podem não cumprir esses requisitos, permitindo assim apresentar directrizes para uma possível Regra de Boa Prática para Portugal (ver capítulo 5.1.2.3).

- Em termos de Ruído Ambiente Interior:

- Capítulo “3.2.1 EN 12354-6”:

Dada a elevada probabilidade de necessidade de cálculo do Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular, assume especial relevância a apresentação resumida (capítulo 3.2.1.1) do método de cálculo direccionado, não muito utilizado, explicitado na norma [14], e a comparação (capítulo 3.2.1.2) desses resultados com os resultados associados à utilização do método “regular” (fórmula de Sabine [15,16]) de utilização generalizada, tornando evidente a subvalorização (não aplicação) das previsões da fórmula de Sabine, para Absorção Sonora irregular, e a pertinência e necessidade de utilização, nestes casos, do método do anexo D da referência [14], e da necessidade da sua automatização (ver capítulo 6.1.6.2) dada a sua complexidade.

- Capítulo “3.2.2 Ruído Aéreo da Máquina de Percussão”:

Dada a necessidade de certificação de que o Ruído Aéreo emitido pela Máquina de percussão não influencia o Isolamento a Sons de Percussão, procura-se evidenciar neste desenvolvimento de análise que, dependendo do conceito deste Ruído Aéreo, a metodologia de aferição da influência do Ruído Aéreo terá de ser distinta, podendo significar, dependendo da metodologia utilizada, o cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais.

- Capítulo “3.2.3 DL 129/2002 e DL 96/2008”:

Dada a substituição do antigo Regulamento de Ruído Ambiente Interior [17],

por um novo Regulamento [18], com alteração da tipologia dos parâmetros de análise (parâmetros Normalizados passaram a Padronizados) considera-se adequado analisar as consequências de tal alteração e evidenciar que a alteração “simples” do tipo de parâmetros significa uma alteração das exigências do Regulamento, ainda que possa ser mais pertinente, do ponto de vista do percipiente, a utilização de parâmetros Padronizados, como ocorre na nova legislação e como se procura demonstrar neste desenvolvimento de análise.

- Em termos de Vibração Ambiente:

- Capítulo “3.3.1 Método Sueco de previsão de vibração”:

Dada a ausência de método normalizado para previsão da vibração assume especial relevância a apresentação resumida (capítulo 3.3.1.1) do método estabelecido na referência [19], o qual se coaduna, em termos de parâmetros utilizados, com os critérios da referência [20], servindo assim de base a uma possível criação de um método de previsão da vibração em Portugal, tendo por base os princípios gerais estabelecidos no capítulo 3.3.1.2 e desenvolvidos no capítulo 6.3.3.

- Capítulo “3.3.2 Critérios de Vibração LNEC”:

Dada a ausência de limites legais para vibração continuada e a generalização da utilização, em Portugal, dos critérios estabelecidos na referência [20], aqui denominados por Critérios de Vibração LNEC, considera-se adequado e relevante apresentar um resumo (capítulo 3.3.2.1) simples destes critérios e seleccionar valores limite a considerar (capítulo 3.3.2.2).

- Capítulo “3.3.3 Critérios de Vibração USA”:

Dada a maior pormenorização dos critérios da referência [21], aqui denominados por Critérios de Vibração USA, considera-se adequado e relevante apresentar um resumo simples destes critérios, o que permite direccionar uma possível evolução dos critérios menos pormenorizados estabelecidos na referência [20] (ver capítulo 5.3.2).

### 2. Desenvolvimentos de opinião:

Face à análise profunda efectuada ao sistema, sobretudo Português, de previsão, medição, limitação e avaliação de Acústica Ambiental, considerou-se relevante apresentar, de forma fundamentada, os erros, inconsistências e indefinições encontrados (capítulo 4), os quais permitem assim entender melhor o próprio sistema e verificar quais os desenvolvimentos mais necessários.

### 3. Desenvolvimentos de melhoria e complementação:

Apesar de se entender que, obviamente, as revisões das normas, legislação e critérios institucionais necessitam de assentar em diferentes sensibilidades, considerou-se relevante expressar, através da sensibilidade própria adquirida na análise efectuada e nos erros, inconsistências e indefinições detectados, quais as formas de melhoria e de complementação julgadas mais adequadas e necessárias, conforme expresso no capítulo 5. Salienta-se que se tratam de formas indicativas, concretizadas para melhor entendimento, mas que podem, face aos problemas em causa evidenciados e perante outras sensibilidades, ser resolvidas de forma diversa. De qualquer maneira, julga-se tratar-se de um contributo relevante para a melhoria do sistema de Acústica Ambiental, e que muito ganha, em termos de apreensão, em estar concretizado. De destacar as sugestões de alteração do Regulamento [10] (capítulo 5.1.2.2), dos Critérios [22] (capítulo 5.1.3.2), do Regulamento [18] (capítulo 5.2.2.2), e dos Critérios [23] (capítulo 5.2.3.2), de introdução de Regra de Boa Prática para o Ruído de Baixa Frequência (capítulo 5.1.2.3) e para a limitação da Vibração Ambiente continuada (capítulo 5.3.2.2), e de objectivação da qualificação e análise comparativa dos impactes, em termos de ruído (capítulos 5.1.3.3 e 5.1.3.4) e de vibração (capítulos 5.3.3.2 e 5.3.3.3).

### 4. Desenvolvimentos particulares:

Os desenvolvimentos particulares, explicitados no capítulo “6 Métodos e acessibilidades desenvolvidos”, estão separados em desenvolvimentos de previsão, medição e previsão relacionando medições, e são os seguintes (excluem-se da lista seguinte os respectivos capítulos de Introdução):

- Previsão (Ruído Ambiente Exterior):
  - 6.1.2 Método de determinação das Áreas de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais: Trata-se de um método simples e inovador que faz uso do

princípio da reciprocidade acústica e que permite, em fases tão antecedentes quanto possível, determinar a denominada Área de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais, em especial Aerogeradores de Parques Eólicos;

- 6.1.3 Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior: A relevância deste método prende-se com a necessidade de determinação, em fases tão antecedentes quanto possível, da denominada Área de Influência Acústica do Projecto, para que, *ab initio*, se conheça qual a área que é necessário cartografar, e/ou obter outro tipo de informação, para efectivação de modelos mais rigorosos em fases subsequentes. Trata-se de um método simplificado, assente nos métodos recomendados na legislação [12], para o qual foi desenvolvida uma aplicação informática disponível na referência/site [e1] (ver capítulo 6.1.6.1);
- 6.1.5 Método alternativo de previsão de características tonais: A importância deste desenvolvimento está limitada à manutenção do método de cálculo de características tonais por Bandas de 1/3 de oitava, expresso no Regulamento [10], e limitada às Actividades Ruidosas Permanentes [10] cujo ruído possua característica tonal na emissão, mas, neste universo, corresponde a um desenvolvimento importante, com o qual é possível estimar, de forma aproximada, a (in)existência de características tonais nos Receptores;

- Previsão (Ruído Ambiente Interior):

6.1.6.2 Previsão do Tempo de Reverberação: Sendo relativamente complexo, mas relevante, o método explicitado no Anexo D da norma [14], conclui-se poder ser relevante a aplicação informática desenvolvida e disponível na referência/site [e1].

- Previsão (Vibração Ambiente):

6.1.4 Método de previsão expedita para Vibração Ambiente: A relevância deste método prende-se com a necessidade de determinação, em fases tão antecedentes quanto possível, da denominada Área de Influência Acústica do projecto, em termos de Vibração Ambiente, para que, *ab initio*, se conheça qual a área que é necessário cartografar, e/ou obter outro tipo de informação, nomeadamente funções de transferência dos solos através de medições *in situ*, para efectivação

de modelos mais rigorosos em fases subsequentes.

- Medição (Ruído Ambiente Exterior):
  - 6.2.2 Juntas de dilatação: Este desenvolvimento trata uma das Fontes de ruído, associadas ao tráfego rodoviário, que mais reclamações suscita, por parte da população, encontrando-se, paradoxalmente, pouco estudada e sem forma normalizada, em Portugal, de previsão, medição, limitação e avaliação.
  - 6.2.3 Método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos: Este desenvolvimento procura, através do uso da variação teórica dos níveis sonoros à passagem de veículos, forma de objectivar quais as medições que têm de ser descartadas e quais as que podem ser consideradas, à luz da norma [24].
  - 6.2.4 Velocímetro e contador de tráfego sonoros: Trata-se de um método inovador que, através do uso de 2 Sonómetros a distância constante e conhecida, entre si e relativamente à via, permite determinar a velocidade de circulação dos veículos e efectuar contagens de tráfego distinguindo os tipos de veículos.
  - 6.2.5 Método de monitorização do ruído de tráfego ferroviário: Procura-se com este desenvolvimento esclarecer a forma de determinação das incertezas de medição na monitorização de tráfego ferroviário e estabelecer uma metodologia de monitorização específica associada.
  
- Medição (Ruído Ambiente Interior):
  - 6.2.6 Método de medição do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão: Apresenta-se uma metodologia de caracterização do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão diferente da estabelecida no capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26], e que tem na base, de determinada forma, um conceito diferente do Ruído Aéreo, tendo por base o estabelecido no capítulo 3.2.2. Na experiência efectuada foi utilizada a Fonte Dodecaédrica desenvolvida no âmbito do trabalho.
  
- Previsão relacionando medições:
  - 6.3.2 Ruído Ambiente Exterior: Trata-se da explicitação teórica, com exemplos, dos princípios do denominado Método Relacional, que tem diferentes aplicações em Ruído Ambiente Exterior, conforme se explicita neste desenvolvimento

particular.

- 6.3.3 Vibração Ambiente: Trata-se de um método importante, na medida em que não existe actualmente método normalizado para previsão da vibração associada a infra-estruturas ferroviárias. Este método usa os resultados de medições *in situ* das funções de transferência de vibração, nos locais onde está prevista ou já existe determinada infra-estrutura, para previsão da vibração associada à nova infra-estrutura ou às novas condições da infra-estrutura existente.

### 5. Desenvolvimentos de demonstração:

Procurou-se efectuar demonstrações, essencialmente no Apêndice A1, nomeadamente as relações entre  $L_{eq}$ ,  $L_E$ ,  $L_{Max}$ ,  $L_w$  e  $L_{w/m}$ , para Fontes Pontuais e Lineares (linha finita de comprimento  $l$ ) a circular a velocidade constante (Apêndices A1.1 e A1.2), com importante aplicação no método de contagem de tráfego (capítulo 6.2.4), e no método de monitorização de Ferrovias (capítulo 6.2.5), para o qual interessa também a propagação de incertezas no cálculo de  $L_{eq,Global}$  (Apêndice A1.3). Foi ainda demonstrada a relação entre o factor de atenuação pontual e o factor de atenuação linear (Apêndice A1.4) com importante aplicação no método de previsão de vibração usando medições (capítulo 6.3.3).

### 6. Desenvolvimentos de acervo bibliográfico:

Dada a quantidade significativa de referências a que se acederam no desenvolvimento do presente trabalho e dada também a sua dispersão significativa, considerou-se vantajoso, para todos os interessados no tema, poder centralizar num único local todos os documentos de acesso livre utilizados, o que foi concretizado na referência/site [e1]. Os documentos de acesso livre estão sinalizados com \* no capítulo “Referências”, o que significa assim que podem ser acedidos na referência/site [e1].

### 3. Métodos analisados, resumos e análises particulares

#### 3.1. Ruído Ambiente Exterior

Os métodos de previsão analisados, no caso do Ruído Ambiente Exterior, são aqueles que o a legislação [12] (transposição da Directiva Comunitária [27]), estabelece como Métodos Provisórios de cálculo, no seu Anexo II, para elaboração de Mapas Estratégicos de Ruído:

1. Fontes Fixas: ISO 9613-2: 1996 (NP 4361-2:2001 [28]; método de acesso não livre).
2. Tráfego rodoviário: *Nouvelle Méthode de Prévission du Bruit (NMPB), 1996* (método de acesso não livre) (última publicação, em Norma Francesa: NF S31-133: 2007 [4]; novo método, com acesso livre: NMPB'2008: 2009 [29]).
3. Tráfego ferroviário: o método de cálculo nacional *Standaard-Rekenmethode II* dos Países Baixos, publicado na «*Reken—Meetvoorschrift Railverkeerslawaal'96, Ministerie Volkshulsvesting, Ruimtellijke Ordening en Milleubeheer, 20 de Novembro de 1996*»: SRMII'96 (tradução disponível em Inglês, com acesso livre [30]) [dentro dos objectivos do presente trabalho, trata-se também (no que concerne aos dados de base) o método simplificado, por Banda Larga (SRM I), da mesma publicação, e não só o método por Bandas de 1/1 de Oitava (SRMII)].
4. Tráfego aéreo: *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*. European Civil Aviation Conference, 1997 [ECAC.CEAC Doc. 29 (última edição 2005, com acesso livre [31,32]).

Relativamente aos métodos de medição de Ruído Ambiente Exterior, foi seleccionada, como não poderia deixar de ser, a norma específica de Ruído Ambiente (NP ISO 1996, de acesso não livre [5,6]; revoga a antiga NP 1730 [7-9]), e 3 outras normas, de acesso não livre, direccionadas para casos particulares de interesse para o presente trabalho:

1. NP EN ISO 3744: 1999 [33]: Medição da potência sonora de equipamentos sobre superfície reflectora (dada a publicação tardia, relativamente aos tempos do presente trabalho, da EN ISO 3744: 2010, não foi possível a sua análise no âmbito do trabalho).
2. EN ISO 11819-1: 2001 [24]: Medição do ruído de pavimentos rodoviários (método estatístico de passagem).

3. ISO 10847: 1997 [11]: Medição da eficácia de Barreiras Acústicas.

Em termos de limitação e avaliação de Ruído Ambiente Exterior, foram analisados os seguintes documentos principais:

1. Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR) em vigor, aplicável a Ruído Ambiente Exterior e Interior [10].
  - Documentos legais anteriores associados:
    - Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho [34];
    - Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro [35].
  - Documentos legais posteriores associados:
    - Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março [36];
    - Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto [37].
2. Documentos da Agência Portuguesa do Ambiente (APA):
  - Nota técnica para avaliação do descritor ruído em AIA. Versão 2. Junho de 2010 [38];
  - Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído. Versão 2. Junho de 2008 [3];
  - Critérios para análise de relações exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte. Dezembro de 2009 [39].
3. Documentos do Instituto Português de Acreditação (IPAC):
  - Critérios de Representatividade IPAC [22].

Foi também analisada a limitação de Ruído Ambiente em outros países da União Europeia (ver capítulo 3.1.7) e as perspectivas de futuro dessa limitação (ver capítulo 3.1.8).

Explicitam-se nos subcapítulos seguintes as análises específicas e resumos julgados relevantes, em termos de Ruído Ambiente Exterior, que servirão de base à análise do capítulo 4.1, às sugestões do capítulo 5.1 e aos desenvolvimentos do capítulo 6.

### **3.1.1. Probabilidades de ocorrência meteorológica para Portugal**

Apresenta-se neste desenvolvimento de análise a metodologia de obtenção (capítulo 3.1.1.1), para Portugal, das probabilidades majorativas, com influência acústica, de ocorrência meteorológica, com

base no estabelecido na referência institucional Europeia [2], na medida em que a referência institucional Portuguesa [3] não tem em conta essa metodologia. Procura-se também evidenciar (capítulo 3.1.1.2), com explicitação de resultados exemplificativos, a necessidade de obtenção de dados de ocorrência meteorológica específicos dos locais, conforme fortemente recomendado na referência institucional Europeia [2], na medida em que tal recomendação não consta na referência institucional Portuguesa [3] nem em outra qualquer referência Portuguesa a que se tenha tido acesso.

### 3.1.1.1. Valores de recurso

O Anexo I da Directiva [27] estabelece o seguinte: “*O dia corresponde a 12 horas, o fim-de-tarde a 4 horas e a noite a 8 horas. Os Estados-Membros poderão encurtar de 1 ou 2 horas o período vespertino e, por conseguinte, aumentar o período diurno e/ou nocturno, desde que a escolha seja a mesma para todas as fontes e que forneçam à Comissão as informações sobre a diferença sistemática em relação à opção por defeito. O início do dia (e, por conseguinte, o início do fim-de-tarde e da noite) será escolhido pelo Estado-Membro (essa escolha é válida para todas as fontes de ruído); os valores por omissão são 07.00 — 19.00 horas, 19.00 — 23.00 horas e 23.00 — 07.00 horas, hora local)*”.

Não podem assim ser quaisquer os períodos de referência definidos pelos Estados-membros.

O documento [2] estabelece a seguinte forma harmonizada para adaptação, a eventuais outros períodos definidos pelos Estados-membros, dos valores de recurso das probabilidades de ocorrência meteorológica ( $p_d$ ,  $p_e$  e  $p_n$ ) recomendados nesse documento e no Guia de Boas Práticas [1] e aplicáveis aos períodos de referência da Directiva [27]:

#### 1. Períodos da Directiva:

- Dia (7h-19h):  $p_d = 0,5$ .
- Entardecer (19h-23h):  $p_e = 0,75$ .
- Noite (23h-7h):  $p_n = 1$ .

#### 2. Outros Períodos:

$$p_d = \frac{12 \times 0,5 + t_{e,d} \times 0,75}{12 + t_{e,d}}$$

$$p_n = \frac{8 \times 1 + t_{e,n} \times 0,75}{8 + t_{e,n}}$$

Onde  $t_{e,d}$  é o número de horas retirado ao período do entardecer original de 4 horas e adicionado ao período diurno original de 12 horas, e  $t_{e,n}$  é o número de horas retirado ao período do entardecer original de 4 horas e adicionado ao período nocturno original de 8 horas.

No caso concreto dos Períodos de Referência estabelecidos na legislação da República Portuguesa [10,12], e na legislação da Região Autónoma dos Açores [40], deve-se então considerar, em rigor:

1. República Portuguesa:

- Dia (7h-20h):  $p_d = 0,52$ :

$$p_d = \frac{12 \times 0,5 + 1 \times 0,75}{13} \approx 0,52$$

- Entardecer (20h-23h):  $p_e = 0,75$ .
- Noite (23h-7h):  $p_n = 1$ .

2. Região Autónoma dos Açores:

- Dia (7h-21h):  $p_d = 0,54$ :

$$p_d = \frac{12 \times 0,5 + 2 \times 0,75}{14} \approx 0,54$$

- Entardecer (21h-23h):  $p_e = 0,75$ .
- Noite (23h-7h):  $p_n = 1$ .

De salientar o facto da norma [28] não apresentar o detalhe especificado pela Directiva [12,27], relativamente à consideração das condições meteorológicas, pelo que o documento [2] estabelece a seguinte equação para obtenção harmonizada do parâmetro  $C_0$  em função das estatísticas associadas à probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora, em termos médios anuais, num determinado local numa determinada direcção/sentido.

$$C_0 = -10 \log \left( \frac{p_f}{100} 10^{\frac{-C_f}{10}} + \frac{p_{hc}}{100} 10^{\frac{-C_{hc}}{10}} + \frac{p_{hu}}{100} 10^{\frac{-C_{hu}}{10}} \right) [\text{dB}]$$

Onde:

1.  $p_f$  [%] é a probabilidade de ocorrência de condições favoráveis;
2.  $p_h$  [%] é a probabilidade de ocorrência de condições homogêneas (considera-se, por segurança, este caso como o complementar das condições favoráveis), dividido na equação anterior em 2 partes:
  - $p_{hc}$  [%] é a probabilidade de ocorrência de condições de *crosswind* (vento perpendicular).
  - $p_{hu}$  [%] é a probabilidade de ocorrência de condições de *upwind* (vento contra).
3.  $C_f = 0$  dB;  $C_{hc} = 1,5$  dB;  $C_{hu} = 10$  dB.

Para os valores de recurso estabelecidos no *Toolkit 17* do documento [1] e para os períodos originais europeus, tem-se:

1. Dia (7h-19h),  $p_f = 50$  %:

$$C_{0,dia} = -10 \log \left( \frac{50}{100} 10^{\frac{-0}{10}} + \frac{25}{100} 10^{\frac{-1,5}{10}} + \frac{25}{100} 10^{\frac{-10}{10}} \right) \approx 1,54 \text{ dB}$$

2. Entardecer (19h-23h),  $p_f = 75$  %:

$$C_{0,entardecer} = -10 \log \left( \frac{75}{100} 10^{\frac{-0}{10}} + \frac{12,5}{100} 10^{\frac{-1,5}{10}} + \frac{12,5}{100} 10^{\frac{-10}{10}} \right) \approx 0,7 \text{ dB}$$

3. Noite (23h-7h),  $p_f = 100$  %:

$$C_{0,noite} = -10 \log \left( \frac{100}{100} 10^{\frac{-0}{10}} + \frac{0}{100} 10^{\frac{-1,5}{10}} + \frac{0}{100} 10^{\frac{-10}{10}} \right) = 0 \text{ dB}$$

No caso particular dos períodos de referência da República Portuguesa tem-se, em rigor [41]:  $C_{0,dia}=1,46$ ,  $C_{0,entardecer}=0,7$  e  $C_{0,noite}=0$ , e no caso da Região Autónoma dos Açores:  $C_{0,dia}=1,39$ ,  $C_{0,entardecer}=0,7$  e  $C_{0,noite}=0$ , pois deve-se escrever:

1. República Portuguesa: Dia (7h-20h),  $p_f = \frac{12 \times 50 + 75}{13} \approx 52$  %:

$$C_{0,dia} = -10 \log \left( \frac{52}{100} 10^{\frac{-0}{10}} + \frac{24}{100} 10^{\frac{-1,5}{10}} + \frac{24}{100} 10^{\frac{-10}{10}} \right) \approx 1,46 \text{ dB}$$

2. Região Autónoma dos Açores: Dia (7h-21h),  $p_f = \frac{12 \times 50 + 2 \times 75}{13} \approx 54$  %:

$$C_{0,dia} = -10 \log \left( \frac{54}{100} 10^{\frac{-0}{10}} + \frac{23}{100} 10^{\frac{-1,5}{10}} + \frac{23}{100} 10^{\frac{-10}{10}} \right) \approx 1,39 \text{ dB}$$

### 3.1.1.2. Pertinência da obtenção de valores específicos dos locais

A referência [1], página 13/129, “*recomenda fortemente que sejam efectuados todos os esforços para obtenção de dados meteorológicos representativos dos locais*”.

A título demonstrativo da importância da consideração de valores efectivos dos locais e não de dados majorantes, extraíram-se os valores mínimos e máximos de ocorrência meteorológica constantes no Anexo C da referência [4], correspondentes aos dados medidos e considerados para as Regiões Metropolitanas de França (em Portugal não estão disponíveis este tipo de dados), para os períodos diurno e nocturno. Estes dados, conjuntamente com as probabilidades majorantes recomendadas e adaptadas [1,41] à República Portuguesa, de 52% para o período diurno e de 100% para o período nocturno, para todas as direcções, foram introduzidos no *software* Cadna A/NMPB’96 (ver Apêndice A4), para comparação dos resultados a 4 m de altura, associados a uma via recta muito longa, em Campo Livre sobre um solo com um coeficiente de Absorção Sonora de 0,8 e com um pavimento comum e os seguintes dados de Tráfego Médio Horário (TMH) e percentagem de Pesados (x%):

1.  $TMH_{Dia}$ : 485 (15%);
2.  $TMH_{Entardecer}$ : 420 (10%);
3.  $TMH_{Noite}$ : 105 (5%).

Foram utilizados estes valores pois correspondem aos valores recomendados no *Tool 2.5* e no *Tool 4.5* do Guia de Boas Práticas [1], multiplicados pela constante mínima que faz com que o tráfego anual seja superior a 3000000 veículos (Grande Infra-estrutura de Transporte [10]). Os resultados obtidos, para uma velocidade de circulação de 90 km/h para veículos Ligeiros (80 km/h para veículos Pesados) e para uma velocidade de circulação de 120 km/h para veículos Ligeiros (100 km/h para veículos Pesados), para os 4 sentidos Norte, Sul, Este e Oeste, e para os valores máximos (Dia: Brest; Noite: Pau) e mínimos (Dia: Pau; Noite: Dunkerque) de probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis de propagação sonora nas regiões metropolitanas de França (ver [4]), constam no Apêndice A3.

De acordo com os resultados constantes no Apêndice A3, verifica-se que, para uma velocidade de 90 km/h e para os dados de tráfego considerados, podem ocorrer diferenças até 1 m, para o período diurno, e até 6 m, para o período nocturno, respectivamente para a isolinha de 65 dB(A) e de 55 dB(A). Para uma velocidade de 120 km/h e para os dados de tráfego considerados, podem ocorrer diferenças até 45 m, para o período diurno, e até 60 m, para o período nocturno, respectivamente para a

isolinha de 65 dB(A) e de 55 dB(A). Neste último caso tratam-se de diferenças muito significativas, que podem representar o incumprimento (ou o cumprimento) dos requisitos legais para um elevado número de Receptores (20% a 25% da área até às isolinhas mais desfavoráveis deixa de necessitar de medidas de minimização, por passar a cumprir os limites legais). Para dados de tráfego mais expressivos e para isolinhas associadas a níveis sonoros mais reduzidos as diferenças serão ainda maiores.

### **3.1.2. Influência do Espectro no dimensionamento das Barreiras Acústicas**

Existem diferentes *softwares* desenvolvidos para prever o ruído de tráfego rodoviário e a eficácia das Barreiras Acústicas [42]. Estes *softwares* são, na sua maioria, baseados em modelos nacionais, por exemplo [43]:

1. Áustria, RVS 3.02 Lärmschutz (RVS 3.02), 1997 (apenas valores de Banda Larga).
2. França, NMPB/XP S31-133, 1996/2001 (1/1 de oitava, 125–4000 Hz; apenas um tipo de Espectro de emissão sonora).
3. Alemanha, Richtlinien für Lärmschutz an Straßen (RLS-90), 1990 (apenas valores de Banda Larga).
4. Países Nórdicos, New Nordic Prediction Method (Nord 2000), 2000 (1/3 de oitava, 25–10000 Hz; Espectros diferentes para diferentes situações de emissão sonora).
5. Grã Bretanha, Calculation of Road Traffic Noise (CRTN) 1988 (apenas valores de Banda Larga).
6. Estados Unidos da América, Traffic Noise Model (TNM), 1998 (1/3 de oitava, 50–10000 Hz; Espectros diferentes para diferentes situações de emissão sonora).

A Directiva [27], recomenda o uso no método Francês [4], para ruído de tráfego rodoviário, até que haja entendimento no uso de métodos Europeus Harmonizados [e2]. Apesar de o método Francês utilizar apenas um tipo de Espectro, existem 6 países que o adoptaram como método nacional [e3]: Bélgica, Espanha, França, Grécia, Itália e Portugal.

O objectivo deste desenvolvimento de análise é evidenciar a importância do Espectro de emissão rodoviária na eficácia das Barreiras Acústicas, uma vez que alterações ligeiras no Espectro podem

implicar alterações não negligenciáveis nas dimensões (altura e/ou comprimento) das Barreiras para atingir iguais eficácias, como se demonstra de forma simples mas original [44,45] em seguida.

Considerando o que vai ser exposto, verifica-se que é muito importante que os *softwares* permitam a introdução de diferentes Espectros de emissão sonora, em função das condições específicas de operação das Fontes de ruído, o que não ocorre actualmente no caso do uso da norma [4] (utilizada e recomendada em Portugal), podendo atingir-se benefícios económicos de cerca de 600000 €, devido a alterações de atenuação, devido ao Espectro (ou outro factor), de apenas 1 dB.

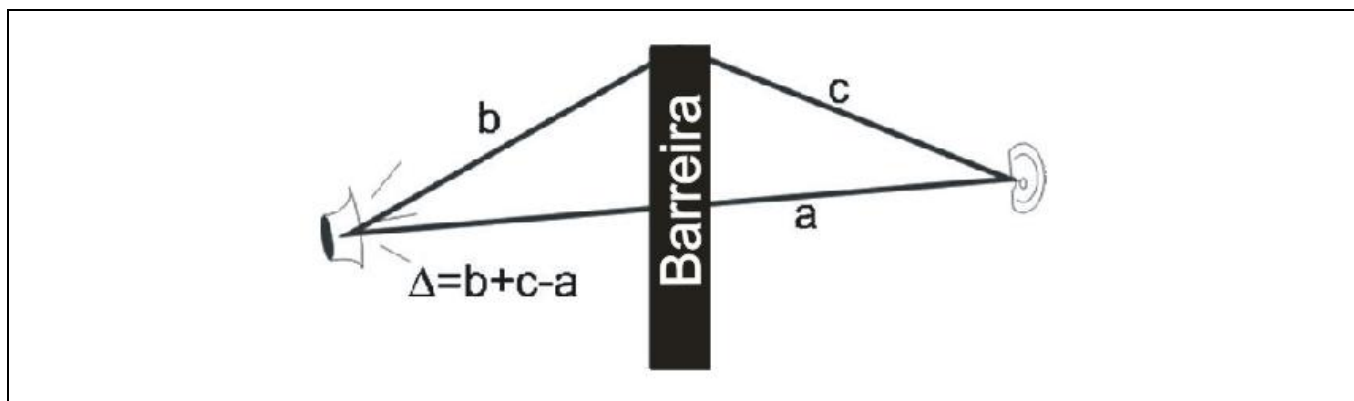
### 3.1.2.1. Atenuação produzida por uma Barreira Acústica

Qualquer Fonte de ruído comum pode ser decomposta num conjunto mais ou menos complexo de Fontes Pontuais, pelo que se torna relevante determinar a atenuação produzida por uma Barreira Acústica relativamente a uma Fonte Pontual.

De acordo com a norma [28], para uma determinada Barreira fixa no chão, podem ser considerados 3 caminhos difractados: 1 passando pelo topo da Barreira, outro pelo lado esquerdo e outro pelo lado direito. Para cada caminho difractado a atenuação da Barreira Acústica é dada por:

$$\begin{cases} A_{barr} = 10\log [3 + (40f/c) \cdot \Delta] & \text{se } \left(\frac{40f}{c}\right) \cdot \Delta \geq -2 \\ A_{barr} = 0 & \text{se } \left(\frac{40f}{c}\right) \cdot \Delta < -2 \end{cases} \quad (1)$$

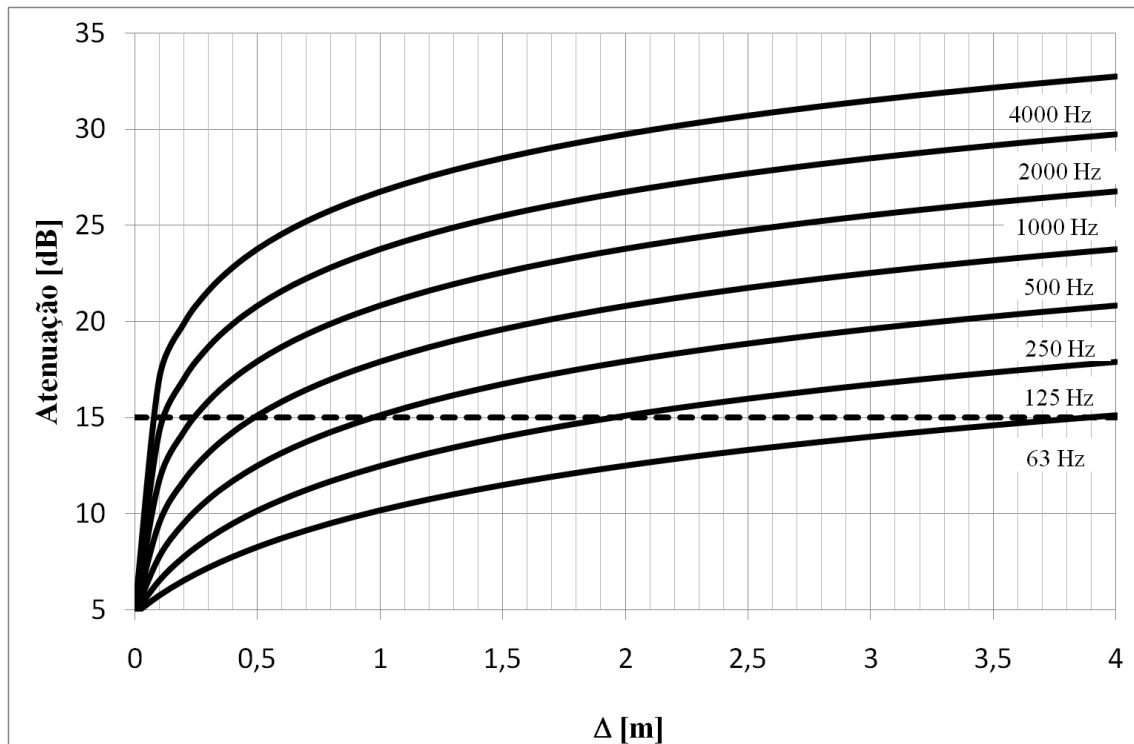
Onde  $f$  é a frequência em estudo,  $c$  a velocidade do som, e  $\Delta$  é a diferença de percursos entre o caminho difractado e o caminho directo (sem Barreira), conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1: Ilustração (perfil transversal) da diferença de caminhos  $\Delta$  para Barreiras Acústicas**

Considerando as frequências centrais das Bandas de oitava entre 63 Hz e 4000 Hz, apresenta-se na Figura 2 a atenuação de uma Barreira Acústica para essas Bandas de frequência e para valores de  $\Delta$

entre 0 e 4 metros.

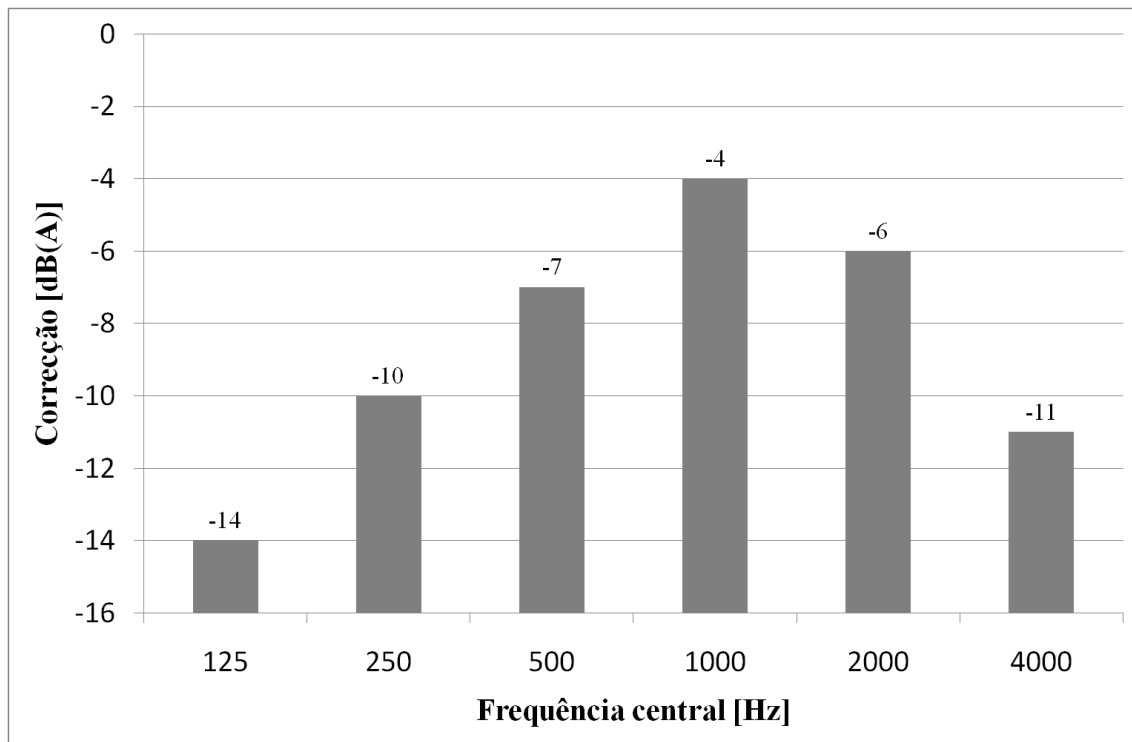


**Figura 2: Atenuação de uma Barreira Acústica em função da frequência e da diferença de percursos  $\Delta$**

A análise da Figura 2 permite verificar que, para atingir uma atenuação de 15 dB, é necessário, para a Banda de 63 Hz, atingir um  $\Delta$  de cerca de 4 metros, para a Banda de 125 Hz um  $\Delta$  de cerca de 2 metros, para a Banda de 250 Hz um  $\Delta$  de cerca de 1 metro, para a Banda de 500 Hz um  $\Delta$  de cerca de 0,5 metros, para a Banda de 1000 Hz um  $\Delta$  de cerca de 0,25 metros, para a Banda de 2000 Hz um  $\Delta$  de cerca de 12,5 centímetros e para a Banda de 4000 Hz um  $\Delta$  de cerca de 6,75 centímetros. Estes resultados são consequência do conhecido princípio de que as Barreiras Acústicas são mais eficazes na redução de ruído de alta frequência.

### 3.1.2.2. Influência do Espectro

O Espectro normalizado de tráfego rodoviário considerado pela norma [4] está representado na Figura 3 em termos de Correções Espectrais (diferença relativamente ao valor de Banda Larga).



**Figura 3: Espectro normalizado de tráfego rodoviário da NMPB'96**

Na Figura 4 apresentam-se os Espectros obtidos *in situ* para um tráfego rodoviário normal num pavimento liso e num pavimento rugoso.

Utilizando as bases de dados dos Projectos Europeus IMAGINE [e2] e SILVIA [e4], e do Manual Técnico *USA Traffic Noise Model (TNM)* [e5], é possível verificar a existência de diferentes Espectros para diferentes situações de emissão sonora. Na Figura 5 apresentam-se os Espectros para veículos Ligeiros para 10 mph ( $\approx 16$  km/h) e para 80 mph ( $\approx 128$  km/h), sobre pavimento normal, considerados pelo *USA TNM*. Na Figura 6 apresentam-se os Espectros para veículos Ligeiros e para veículos Pesados, sobre o pavimento de referência, de acordo com o Projecto SILVIA.

Verifica-se assim que todos os perfis espectrais são idênticos, contudo o Espectro normalizado da norma [4] é o que possui componentes de baixa frequência mais significativas. Relativamente às velocidades de circulação, a baixa velocidade apresenta componentes de baixa frequência mais significativas. Relativamente ao tipo de veículos, os veículos Pesados possuem componentes de baixa frequência mais significativas.

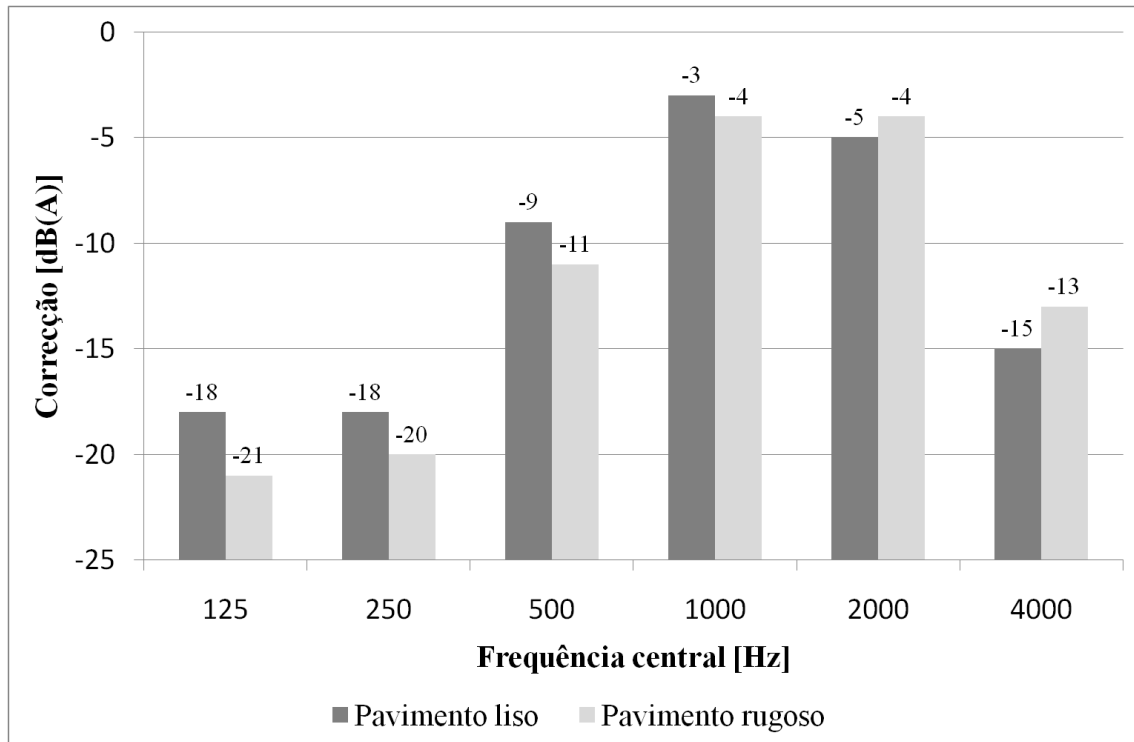


Figura 4: Espectros obtidos *in situ* para pavimento rodoviário liso e rugoso

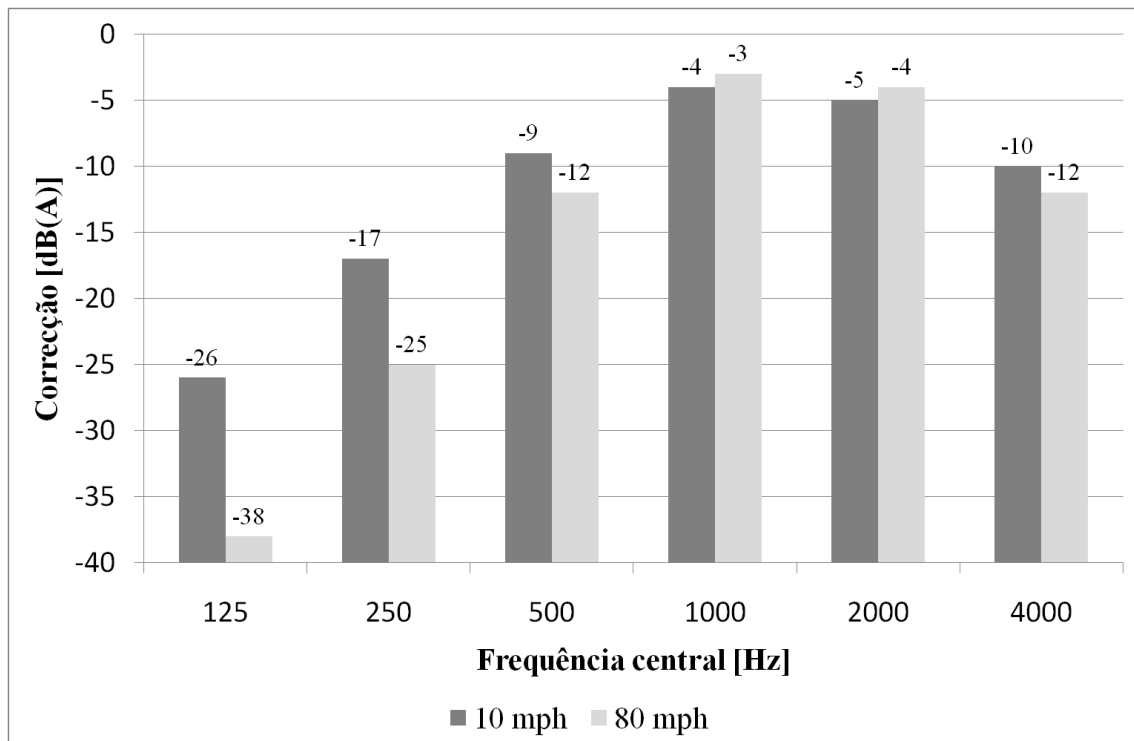
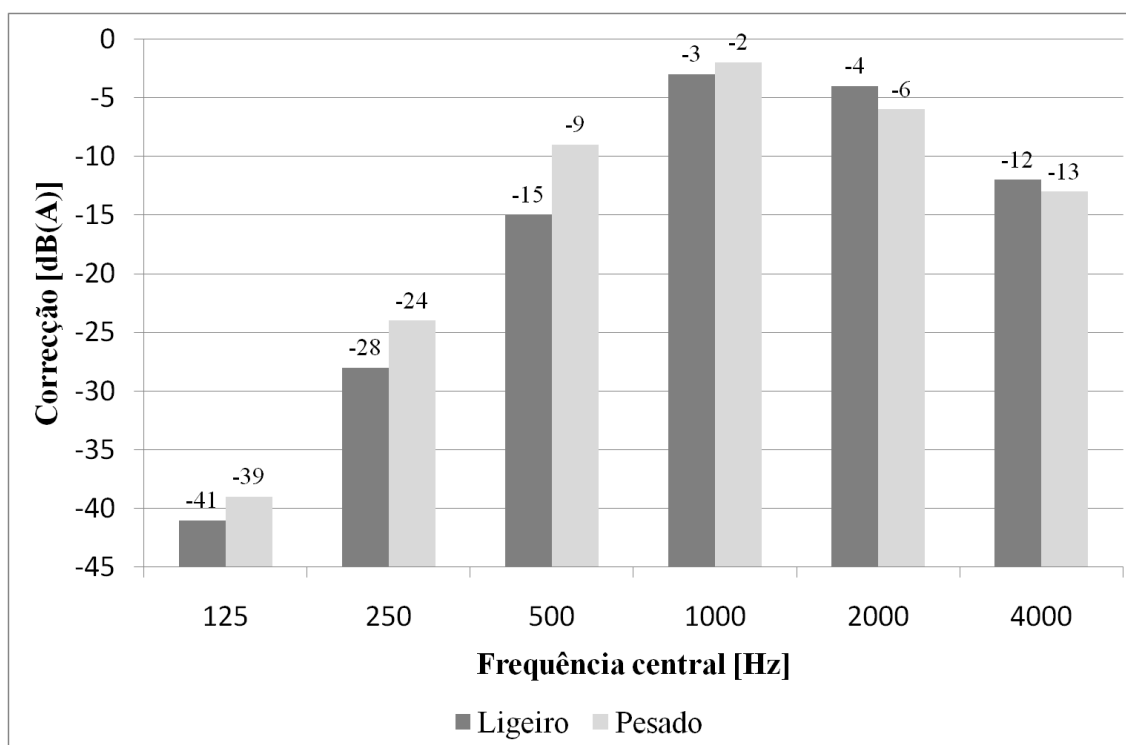


Figura 5: Espectros para 10 mph e para 80 mph (USA TNM)



**Figura 6: Espectros para veículos Ligeiros e Pesados (SILVIA)**

Apresentam-se no Quadro 1 os resultados da utilização dos 7 tipos de Espectro apresentados, no cálculo da atenuação global, de acordo com a expressão (1), para 6 diferentes valores de  $\Delta$  (diferença de percursos).

**Quadro 1: Atenuação de Barreira Acústica para Fonte Pontual**

Tipo de Espectro	Atenuação [dB]					
	Diferença de Percursos [m]					
	0,125	0,25	0,5	1	2	4
Normalizado	9	11	14	16	19	22
Pavimento liso	10	13	15	18	20	23
Pesados	10	12	15	18	21	24
10 mph	11	13	17	18	21	24
80 mph	11	13	16	19	21	24
Pavimento rugoso	11	13	16	19	21	24
Ligeiros	11	13	16	19	22	25

Pode ser observado no Quadro 1 que, para o mesmo valor global de emissão sonora, podem ocorrer variações máximas de 3 dB devido ao uso de diferentes tipos de Espectro. Devido à presença de componentes mais significativas de baixa frequência, o Espectro normalizado [4] é o que possui atenuações mais reduzidas.

Uma vez que a expressão (1) é aplicável a Fontes Pontuais, pode ser duvidosa a extensão dos

resultados do Quadro 1 ao caso de Fontes Lineares. Por essa razão, foi modelado no *software* Cadna A/ISO 9613-2 (ver Apêndice A4), uma Fonte Linear a 0,5 m acima do solo, uma Barreira Acústica longa com 4 metros de altura e vários Receptores a diferentes distâncias e alturas, de forma a representar as 6 diferenças de percurso do Quadro 1. Os níveis sonoros nos Receptores foram calculados com e sem a Barreira, para os 7 tipo de Espectros referidos anteriormente, e subtraídos para obtenção dos valores da atenuação da Barreira, os quais se apresentam no Quadro 2.

**Quadro 2: Atenuação de Barreira Acústica para Fonte Linear**

Tipo de Espectro	Atenuação [dB]					
	Diferença de Percursos [m]					
	0,125	0,25	0,5	1	2	4
Normalizado	7	9	11	13	15	18
Pavimento liso	7	9	12	14	16	18
Pesados	7	9	12	14	17	19
10 mph	8	10	12	15	16	19
80 mph	8	10	12	15	17	19
Pavimento rugoso	8	10	12	15	17	19
Ligeiros	8	10	12	15	17	19

Pode-se observar que a atenuação da Barreira Acústica é menor para Fontes Lineares do que para Fontes Pontuais (2 a 6 dB), contudo para a mesma emissão sonora global, ocorrem variações idênticas na atenuação devido à modificação do Espectro. Variações máximas até 2 dB podem ocorrer, de acordo com o Quadro 2.

### 3.1.2.3. Dimensões e custos das Barreiras Acústicas

Como primeira aproximação pode-se considerar que uma determinada Barreira Acústica assente no chão é suficientemente longa (as difracções laterais são desprezáveis relativamente à difracção de topo), se o ângulo  $\varphi$  (em graus), entre os extremos laterais da Barreira e o Receptor (vértice) satisfaz a seguinte inequação [46].

$$\varphi \geq \frac{180 \cdot 10^{\frac{A_{barr}}{10}}}{1 + 10^{\frac{A_{barr}}{10}}} \quad (2)$$

Onde  $A_{barr}$  é a atenuação de Banda Larga da Barreira Acústica, e deverá ser maior do que 0.

Considerando uma via recta, uma Barreira Acústica paralela à via, com comprimento  $l_{barr}$ , e um Receptor a uma distância  $d_{via}$  perpendicular à via, de tal modo que essa distância perpendicular fique a meio da Barreira, a Barreira será suficientemente longa se [47]:

$$l_{barr} \geq 2 \cdot d_{via} \cdot \text{Tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

O Quadro 3 apresenta os valores de  $l_{barr}$  em função de valores possíveis de  $A_{barr}$  e de  $d_{via}$ .

De notar que se analisa apenas a variação do comprimento da Barreira e não da sua altura porque usualmente, por razões de segurança e paisagismo [48-51], não são desejáveis alterações da altura e existe uma altura máxima para a Barreira Acústica.

**Quadro 3: Comprimento de Barreira Acústica suficientemente longa**

Atenuação A da Barreira Acústica [dB]	Comprimento $l_{barr}$ de uma Barreira Acústica suficientemente longa						
	Distância à via [m]						
	5	10	15	20	25	50	100
5	25	50	76	101	126	252	505
8	45	92	137	183	229	458	916
12	106	214	321	428	535	1071	2139
13	133	266	399	533	666	1331	2663
14	166	332	498	664	830	1661	3322

Analisando o Quadro 3 verifica-se que uma variação de 1 dB na atenuação da Barreira (o que pode ocorrer, conforme verificado anteriormente, para pequenas variações de Espectro de emissão sonora) significa uma expressiva variação do comprimento da Barreira. No caso de uma alteração de uma atenuação de 14 dB, ou 12 dB, para 13 dB, será necessário estender a Barreira em cerca de 650 metros, ou encurtar em cerca de 525 metros, para um Receptor localizado a 100 metros da via.

A validade da equação (2), foi testada no *software* Cadna A/ISO9613-2 (ver Apêndice A4). Utilizando, por exemplo, o Espectro de veículos Ligeiros a 80 mph, e mudando o Espectro para Pesados (diferença de atenuação de cerca de 1 dB), tem-se, para uma Barreira típica de 4 m de altura, um acréscimo do comprimento de cerca de 1000 metros, para conseguir a mesma atenuação, o que confirma os resultados do Quadro 3.

Em Portugal a altura mais comum das Barreiras Acústicas é 4 metros, pelo que assumindo um custo (fornecimento e montagem) de cerca de 150 €/m<sup>2</sup>, tem-se que uma alteração de cerca de 1000 metros no comprimento, devido a uma alteração do Espectro de emissão (diferença de atenuação de 1 dB), pode significar uma diferença de custos de cerca de 600000 €.

### 3.1.3. Particularidades da velocidade de circulação nas previsões de ruído

Entende-se por Velocidade Contínua Equivalente (de notar que esta designação específica só de encontra no presente trabalho), o valor da velocidade de circulação dos veículos que produz um nível sonoro igual ao nível sonoro contínuo equivalente (média energética) associado às diferentes velocidades que ocorrem na via durante um determinado período de tempo (este conceito e boa parte das conclusões seguintes aplicam-se também a tráfego ferroviário).

O objectivo deste desenvolvimento de análise é tornar evidentes as diferenças que existem, na previsão dos níveis sonoros, entre a consideração da Velocidade Contínua Equivalente, da velocidade média e da velocidade máxima legal das vias, e conseqüentemente a necessidade de incentivo à compreensão e utilização do parâmetro Velocidade Contínua Equivalente, o que não ocorre actualmente, quer nas especificações do *Toolkit 3* da referência [1] e da página 9 da referência [3], quer em qualquer outra das referências a que se acedeu no âmbito do trabalho.

Tendo por base, por exemplo, a expressão que relaciona a velocidade dos veículos Ligeiros com o nível sonoro contínuo equivalente individual, em 1 hora, para uma via horizontal, para um fluxo fluido contínuo e para velocidades superiores a 43,5 km/h (valores da velocidade  $v$  expressos em km/h) [47]:

$$L_{eq} = 21,3 \log(v) - 5,5 \quad (3)$$

Tem-se que o nível sonoro contínuo equivalente global, para  $n_l$  veículos Ligeiros por hora, a circular cada um a uma velocidade  $v_{nl}$  [km/h], vem dado por:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( 10^{\frac{21,3 \log(v_1) - 5,5}{10}} + 10^{\frac{21,3 \log(v_2) - 5,5}{10}} + \dots + 10^{\frac{21,3 \log(v_{n_l}) - 5,5}{10}} \right)$$

De acordo com o conceito de Velocidade Contínua Equivalente,  $v_{eq}$  [km/h], pode-se escrever também, neste caso:

$$L_{eq,Global} = 21,3 \log(v_{eq}) - 5,5 + 10 \log(n_l)$$

Ou seja, neste caso, a Velocidade Contínua Equivalente vem dada por:

$$21,3 \log(v_{eq}) - 5,5 + 10 \log(n_l) = 10 \log \left( 10^{\frac{21,3 \log(v_1) - 5,5}{10}} + 10^{\frac{21,3 \log(v_2) - 5,5}{10}} + \dots \right. \\ \left. \dots + 10^{\frac{21,3 \log(v_{n_l}) - 5,5}{10}} \right)$$

$$21,3 \log(v_{eq}) - 5,5 + 10 \log(n_l) = -5,5 + 10 \log \left( v_1^{\frac{21,3}{10}} + v_2^{\frac{21,3}{10}} + \dots + v_{n_l}^{\frac{21,3}{10}} \right)$$

$$v_{eq} = \left( \frac{v_1^{\frac{21,3}{10}} + v_2^{\frac{21,3}{10}} + \dots + v_{nl}^{\frac{21,3}{10}}}{n_l} \right)^{\frac{10}{21,3}} \quad (4)$$

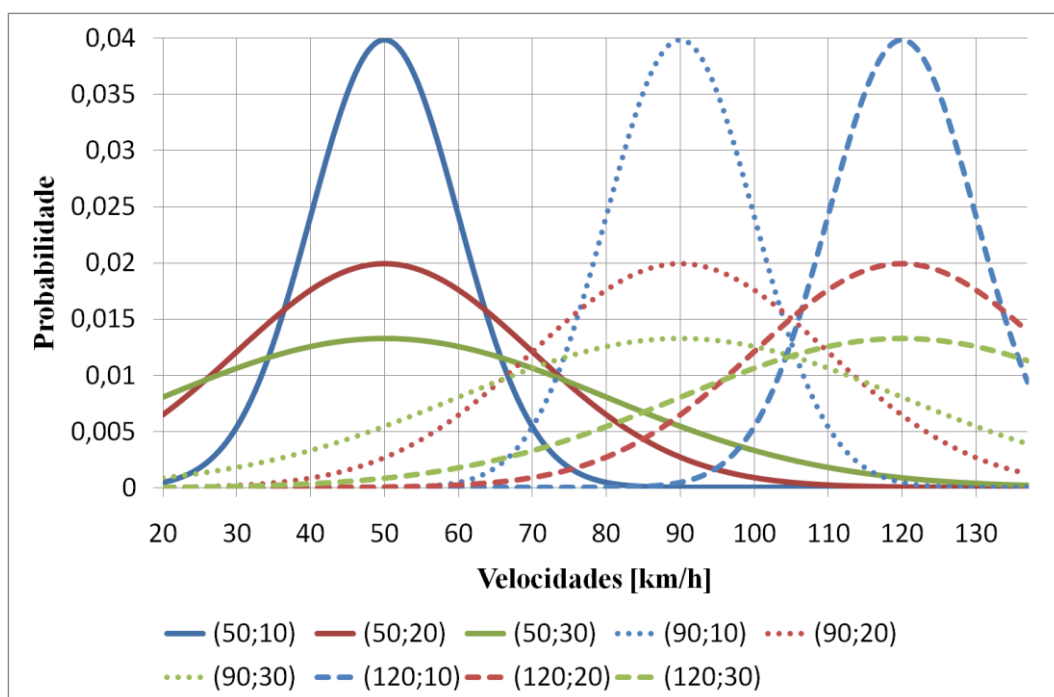
Trata-se portanto de uma relação diferente da média aritmética das velocidades. De notar que, para uma variação dos níveis sonoros numa proporção de  $a \log(v)$ , basta substituir o valor de 21,3 da expressão (4) por  $a$ , o que significa que para o caso especial de uma variação na forma  $10 \log(v)$  a expressão (4) passa a ser igual à média aritmética.

Face ao exposto, a informação necessária, a favor de uma modelação mais rigorosa, não se pode cingir à existência de valores de velocidade média aritmética, conforme recomendado, por exemplo, na referência [3], sendo necessária, na medida do possível, informação sobre a distribuição das velocidades ao longo do tempo, para cada tipo de veículo, para possibilitar o adequado cálculo da Velocidade Contínua Equivalente associada.

Não foi possível determinar, através de medições *in situ*, a diferença típica entre a velocidade média de circulação e a Velocidade Contínua Equivalente, para Ligeiros e Pesados, numa determinada via, pelo que se assumem, na ausência de melhor informação, distribuições normais (gaussianas), para verificar as diferenças possíveis e as respectivas consequências em termos de Níveis Sonoros.

Considerando as velocidades mínimas e máximas da norma [4] (20 km/h e 137 km/h), apresentam-se na Figura 7, nove distribuições de probabilidade  $\Phi$  de base gaussiana (ver equação seguinte [52]), com valores médios  $\bar{v}$ , na fórmula, de 50 km/h, 90 km/h e 120 km/h, e desvios padrão  $\sigma$ , na fórmula, de 10 km/h, 20 km/h e 30 km/h.

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$



**Figura 7: Distribuições de probabilidade de base gaussiana para as velocidades de circulação**

Para as distribuições de probabilidade anteriores, obtiveram-se as velocidades médias [de notar que a média calculada não dá igual à média base da expressão (5), pois não se tem um intervalo infinito mas sim um intervalo limitado (20 km/h a 137 km/h)], as Velocidades Contínuas Equivalentes e os níveis sonoros associados [utilização da equação (3)], à passagem de um só veículo Ligeiro, assumindo um fluxo fluido contínuo e uma via horizontal [47], que se apresentam no Quadro 4.

**Quadro 4: Diferença de Níveis Sonoros para velocidade média e Velocidade Contínua Equivalente**

Distribuição de probabilidade	Velocidade média [km/h]	Nível sonoro (velocidade média) [dB(A)]	Velocidade Contínua Equivalente [km/h]	Nível sonoro (Velocidade Contínua Equivalente) [dB(A)]	Diferença níveis sonoros [dB]
(50;10)	50	31	52	31	0
(50;20)	49	31	58	32	1
(50;30)	49	31	58	32	1
(90;10)	90	36	89	36	0
(90;20)	89	36	89	36	0
(90;30)	81	35	89	36	1
(120;10)	114	38	123	39	1
(120;20)	92	36	99	37	1
(120;30)	76	35	89	36	1

A análise do Quadro 4 permite verificar que, para as distribuições de probabilidade consideradas,

podem ocorrer diferenças até 1 dB, entre a consideração da velocidade média ou da Velocidade Contínua Equivalente. 1 dB pode parecer muito pouco, contudo variações de 1 dB podem ter influência muito significativa no dimensionamento das Barreiras Acústicas, como se demonstrou no capítulo 3.1.2.

A importância da necessidade de registo das velocidades efectivas das vias, prende-se com o que foi dito acima mas sobretudo com o facto de, na ausência de informação, serem consideradas normalmente as velocidades máximas legais da via [53], o que, para os exemplos do Quadro 4, pode significar a seguinte diferença (Quadro 5) em termos de níveis sonoros, onde os valores positivos significam valores maiores se for considerada a Velocidade Contínua Equivalente e os valores negativos significam valores maiores se for considerada a velocidade máxima legal da via.

**Quadro 5: Diferença de Níveis Sonoros para velocidade máxima legal e Velocidade Contínua Equivalente**

Distribuição de Probabilidade	Velocidade máxima legal da via [km/h]	Nível sonoro (velocidade máxima legal da via) [dB(A)]	Velocidade Contínua Equivalente [km/h]	Nível sonoro (Velocidade Contínua Equivalente) [dB(A)]	Diferença níveis sonoros [dB]
(50;10)	50	31	52	31	0
(50;20)	50	31	58	32	1
(50;30)	50	31	58	32	1
(90;10)	90	36	89	36	0
(90;20)	90	36	89	36	0
(90;30)	90	36	89	36	0
(120;10)	120	39	123	39	0
(120;20)	120	39	99	37	-2
(120;30)	120	39	89	36	-3

Constata-se assim que pode ocorrer, para os exemplos apresentados, uma diferença máxima de -3 dB.

Acresce ao que foi referido, em termos da importância do registo das velocidades de circulação efectivamente praticadas, a favor de uma modelação mais rigorosa, o facto de, normalmente, poderem ser diferentes as velocidades contínuas equivalentes para diferentes secções (secções em subida, em descida e na horizontal, junto a nós, em zona sem nós, etc) e para diferentes vias de trânsito<sup>1</sup> (via da direita e da esquerda em vias rápidas), o que exige assim, para uma modelação mais rigorosa e normalmente menos sobrevalorizada, o registo das velocidades praticadas em diferentes zonas (aquelas onde são expectáveis diferentes valores de Velocidade Contínua Equivalente).

<sup>1</sup> De acordo com a alínea *t*) do Artigo 1.º do Código da Estrada em vigor (DL 44/2005 [53]) tem-se: “Via de trânsito<sup>1</sup>: zona longitudinal da faixa de rodagem destinada à circulação de uma única fila de veículos”.

### **3.1.4. NP ISO 1996**

Apresenta-se neste desenvolvimento de análise o resumo (capítulo 3.1.4.1) das novas normas [5,6], relativas à definição, medição e avaliação de Ruído Ambiente, que introduzem, relativamente às normas anteriores associadas [7-9], novos conceitos e novas perspectivas que deverão ser tidos em conta numa desejável revisão da legislação de Ruído Ambiente Exterior [10]. Procura-se também evidenciar a importância do esclarecimento do conceito de Som Incidente e da localização do Ponto de Avaliação (capítulo 3.1.4.2), o que não consta, mas poderia, ou deveria constar, nas normas [5,6] e/ou na legislação de Ruído Ambiente Exterior [10].

#### **3.1.4.1. Resumo**

A norma [5] define as grandezas fundamentais a utilizar na descrição de Ruído Ambiente, e os procedimentos gerais de avaliação e correcção em função da resposta média da comunidade ao incómodo devido ao Ruído Ambiente.

Deixa de existir a definição de Ruído Ambiente, apesar do título da norma possuir o conceito Ruído Ambiente, passando a existir definição para Som Total, Som Específico, Som Residual e Som Inicial.

Mantém-se e alarga-se o conceito de Nível de Avaliação: *“qualquer nível sonoro, medido ou previsto, a que é adicionada uma correcção”*.

Apresentam-se no Quadro 6 as correcções estabelecidas na Tabela A.1 da norma [5], aqui adicionadas de outras duas correcções constantes no texto da norma [5], mas não constantes na sua Tabela A.1, aqui denominadas por “Outras Características”.

**Quadro 6: Correções para obtenção do Nível de Avaliação (NP ISO 1996-1)**

Classe		Especificação	Correcção ao Nível dB
Características Principais	Tipos de Fontes sonoras	Tráfego Rodoviário	0
		Aeronaves	3 a 6
		Tráfego Ferroviário*	-3 a -6
		Indústrias	0
	Características das Fontes	Regularmente Impulsiva	5
		Altamente Impulsiva	12
Alta-energia Impulsiva		**	
Tonalidades Proeminentes		0 a 6	
Período de tempo	Diurno	0	
	Entardecer	5	
	Nocturno	10	
	Diurno ao fim-de-semana	5	
Outras Características	Baixa Frequência	Componentes entre 5 Hz e 100 Hz	***
	Habituação	Não familiarização com a Fonte de ruído	0 a 5
		Receptores em ambiente calmo familiarizados com a Fonte de ruído	0 a 10
		Receptores em ambiente calmo não familiarizados com a Fonte de ruído	0 a 15

\* Estas correções não se aplicam a comboios a Diesel longos nem a comboios a circular a velocidades superiores a 250 km/h.

\*\* A correcção pode ser aplicada ao  $L_E$ , em ponderação C, da seguinte forma (Anexo B da norma [5]):  $L_{RE}=2L_{CE} - 93$  (para  $L_{CE} \geq 100$  dB),  $L_{RE}=1,18L_{CE} - 11$  (para  $L_{CE} < 100$  dB).

\*\*\* Não existe nenhuma correcção especificada na norma [5], apenas é referido o facto de alguns países usarem a Ponderação em frequência G para análise dos infra-sons.

### Características impulsivas

Ao contrário do estabelecido na versão anterior (originariamente 1982/1987, em Portugal 1996 [7-9]), a nova versão (originariamente 2003/2007, em Portugal 2011), da série de normas [5,6], não estabelece fórmula objectiva de cálculo das características impulsivas, referindo inclusive o seguinte no capítulo 8.4.8 da norma [6]:

*“Não há um método consensualmente aceite para detectar o som impulsivo utilizando medições objectivas. Se o som impulsivo ocorre, a fonte deve ser identificada e comparada com a lista de fontes de som impulsivo que consta da ISO 1996-1.”*

A lista é a seguinte:

1. Fonte Sonora de Alta Energia Impulsiva: Qualquer Fonte explosiva cuja massa equivalente de TNT exceda 50 g, ou Fontes com características e grau de perturbação comparáveis. Exemplos: Explosões em pedreiras e em minas, bum sónico, demolições ou processos industriais que utilizem explosivos de carga elevada, disjuntores explosivos industriais, material militar (blindados, artilharia, morteiros, bombas, ignição explosiva de foguetes e mísseis).

2. Fonte Sonora Altamente Impulsiva: Qualquer Fonte com características de elevada impulsividade e elevado grau de perturbação. Exemplos: Pequenas armas de fogo, martelar em metal ou em madeira, pistolas de pregos, martelos de moldagem, bate-estacas, operações de forja com martinete de queda, presas de perfurar, martelos pneumáticos, roturas de pavimentos, ou impactos metálicos em operações ferroviárias.
3. Fonte Sonora Regularmente Impulsiva: Fonte sonora impulsiva que não é uma Fonte Sonora Altamente Impulsiva nem uma Fonte Sonora de Alta Energia Impulsiva. Esta categoria inclui as Fontes sonoras que emitem sons que por vezes são descritos como impulsivos, mas que normalmente não são considerados tão perturbadores como os sons emitidos pelas Fontes sonoras de elevada impulsividade. Exemplos: Bater da porta dum carro, jogos de bola no exterior como o futebol, ou o basquetebol, e sinos de igreja. Também podem ser incluídas nesta categoria as passagens muito rápidas de aeronaves militares a baixa altitude.

### **Características tonais**

Relativamente à existência de Tonalidades Proeminentes a norma [6] estabelece dois métodos, um simplificado e outro não simplificado, este último significativamente diferente (mais complexo e exigente) do que o método da versão anterior [8].

De referir que é dito na norma [6] que o cálculo das características tonais deve ser efectuado apenas se a percepção humana da existência de tons não é consensual. É também referida a seguinte nota importante no capítulo 8.4.7 da norma [6]: *“De uma maneira geral, a análise tonal do ruído interior não é recomendada atendendo ao comportamento modal dos tons nos compartimentos. A análise tonal é também problemática para algumas bandas de frequência quando o microfone é colocado em frente de uma fachada”*.

O método simplificado estabelece o seguinte (Anexo D da norma [6]): medições de 1/3 de oitava e verificação se o valor do nível de pressão sonora de uma determinada Banda é superior ao nível de pressão sonora de ambas as Bandas adjacentes em pelo menos:

1. 25 Hz a 125 Hz: 15 dB.
2. 160 Hz a 400 Hz: 8 dB.
3. 500 Hz a 10000 Hz: 5 dB.

Verifica-se assim que o novo método simplificado é igual ao método da norma [8], para as Bandas entre 500 Hz e 10000 Hz. Para as outras Bandas o antigo método [8] mantinha o valor de 5 dB para a diferença.

O novo método não simplificado centraliza a análise no interior da denominada Banda Crítica e possui 3 passos:

1. Análise em frequência, em Banda Estreita (preferencialmente análise FFT [55]);
2. Determinação do nível médio de pressão sonora do tom ou tons e do ruído de mascaramento na Banda Crítica à volta do tom ou tons;
3. Cálculo da audibilidade tonal,  $\Delta L_{ta}$ , e da correcção,  $K_t$ , para cada Banda Crítica e selecção do caso mais desfavorável.

### **Localização do microfone**

A posição do microfone depende do que se pretende caracterizar.

Para caracterizar um determinado Receptor deve-se efectuar a medição junto a esse Receptor, ainda que seja necessário atender ao facto se é pretendido o valor do denominado Som Incidente, conforme previsto na legislação [12] – de notar que a legislação [10] não clarifica qual o tipo de som em causa nas limitações expressas – é necessário efectuar a medição em campo livre ou efectuar algumas correcções na presença de reflexões existentes ou criadas para o efeito:

1. Microfone sobre uma superfície reflectora padrão:
  - O objectivo desta posição é obter um campo onde o som incidente e o reflectido estão em fase (correcção de -6 dB relativamente ao som incidente), existindo assim interferência construtiva até uma determinada frequência limite (tipicamente 4 kHz para microfone de 13 mm e incidência não rasante);
  - A placa reflectora padrão deve ser lisa e feita de um material rígido e acusticamente reflector (aglomerado de madeira pintada com espessura superior a 19 mm ou alumínio com espessura superior a 5 mm), deve ter as dimensões que façam com que o microfone fique a mais de 1 m das arestas, e deve possuir borrachas resilientes (mais de 3 mm de espessura), caso se pretenda encostar a placa à parede;

- Devem ser evitadas configurações que produzam ruídos parasitas, nomeadamente ruído aerodinâmico na placa.
2. Microfone na proximidade de superfícies reflectoras existentes, tipicamente fachadas de edifícios:
- O objectivo desta posição é obter um campo onde o som incidente e o reflectido não estão em fase mas possuem igual energia, existindo uma adição energética dos níveis sonoros (correção de -3 dB);
  - Para que este requisito se verifique são necessárias as seguintes restrições:
    - A superfície reflectora existente deve ser plana em pelo menos  $\pm 0,3$  m;
    - A distância do microfone à superfície reflectora, deve verificar algumas exigências (Anexo B.3 [6]), para que não hajam interferências construtivas (não é recomendado esta posição de microfone para medições de Bandas de 1/3 de oitava);
    - Relativamente aos efeitos de contorno da superfície reflectora, a distância do microfone às arestas da superfície reflectora deverá verificar também algumas exigências (Anexo B.3 [6]).

### **3.1.4.2. Som Incidente e Ponto de Avaliação**

A Legislação [12] estabelece, no seu Anexo I, o seguinte: “*Nos casos em que existam superfícies reflectoras (por exemplo, fachadas) é considerado o som incidente, o que significa que se despreza o acréscimo de nível sonoro devido à reflexão que aí ocorre [regra geral, isso implica uma correção de -3 dB(A) em caso de medição a menos de 3,5 m da referida superfície]*”.

A Legislação [10] não esclarece se os seus limites são ou não para Som Incidente, o que pode significar diferenças de 6 dB para medições sobre superfície reflectora (ver método da norma [6] de obtenção de som incidente com Placa própria). Para outras situações as diferenças poderão até ser maiores, por exemplo o caso de um edifício reflector com um logradouro quadrado de  $10 \times 10$  m<sup>2</sup>, vedado com um muro reflector de 2 metros de altura. A diferença entre considerar todas as reflexões (edifício e muros) e não considerar nenhuma reflexão é cerca de 8 dB, a meio do logradouro a uma altura de 1,5 metros [54].

No caso da consideração de só os muros como reflectores, e não o edifício, o valor vai ficar sensivelmente a meio (4 dB abaixo do valor com todas as reflexões e 4 dB acima do valor sem nenhuma reflexão), o que evidencia o facto de, para além de ser necessário esclarecer se para a Legislação [10] os limites aplicam-se a Som Incidente, é também necessário esclarecer, inclusive na legislação Europeia [27] que superfícies são para considerar como reflectores e que superfícies não são para considerar como reflectores.

No que concerne ao ponto de avaliação, tem-se que a Legislação [10] estabelece o seguinte no n.º 4 do Artigo 11.º: “4- Para efeitos de verificação de conformidade dos valores fixados no presente artigo, a avaliação deve ser efectuada junto do ou no receptor sensível, por uma das seguintes formas: a) Realização de medições acústicas, sendo que os pontos de medição devem, sempre que tecnicamente possível, estar afastados, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura reflectora, à excepção do solo, e situar-se a uma altura de 3,8 m a 4,2 m acima do solo, quando aplicável, ou de 1,2 m a 1,5 m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos;”.

Na norma [7] estava estabelecido o seguinte: “5.2.1. Medições no exterior: Quando se pretende minimizar a influência das reflexões, as medições devem, sempre que possível, ser efectuadas a, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura reflectora, à excepção do solo. Desde que não seja explicitado, as alturas de medição adequadas são de 1,2 a 1,5 m acima do solo. Outras alturas devem ser especificadas nas normas aplicáveis. 5.2.2. Medições no exterior na proximidade de edifícios: Estas medições devem ser efectuadas nos locais onde se pretende conhecer o ruído ao qual o edifício está exposto. Desde que não seja especificado em contrário, as posições de medição preferenciais são de 1 a 2 m das fachadas e de 1,2 a 1,5 m acima do nível de cada piso de interesse”.

No documento [56] está estabelecido o seguinte na sua pág. 22: “give results at 4 m height 0.1 m in front of the façade”.

Na Directiva [27] (legislação [12]) não consta a distância à fachada.

Julga-se que o exemplo seguinte é esclarecedor da necessidade de clarificação de qual a distância à fachada do edifício que deve ser considerada para o ponto de avaliação: suponha-se o caso de um Edifício reflector com 1 piso, correspondente a um Receptor Sensível, localizado a 5 m de uma via de tráfego com cerca de 20 veículos Ligeiros por hora, no período nocturno, a circular a 50 km/h, tem-se, de acordo com o *software* Cadna A/NMPB’96 (ver Apêndice A4), os seguintes níveis sonoros (Som Incidente) a 1,5 m acima do solo e às seguintes distâncias da fachada do edifício:

1. 3,5 m:  $\approx 58$  dB(A) (não cumpre os limites de Zona Mista [10]);
2. 2 m:  $\approx 55$  dB(A) (cumpre os limites de Zona Mista);
3. 1 m:  $\approx 54$  dB(A) (cumpre os limites de Zona Mista);
4. 0,1 m:  $\approx 53$  dB(A) (cumpre os limites de Zona Mista e de Zona ainda não classificada [10]).

### 3.1.5. ISO 10847

Apresenta-se neste desenvolvimento de análise o resumo (capítulo 3.1.5.1) da norma [11], relativa à determinação *in situ* da Eficácia de qualquer tipo de Barreira Acústica. Procura-se também evidenciar (capítulo 3.1.5.2) que uma dada Barreira Acústica possui, normalmente, mais do que uma Eficácia ao longo do dia pelo que a norma deveria ser revista no sentido de tornar isso claro e indicar procedimentos para determinação da Eficácia representativa da situação que se pretende caracterizar.

#### 3.1.5.1. Resumo

Em suma a norma [11] define 2 métodos para determinação *in situ* da Eficácia de Barreiras Acústicas de qualquer tipo, para qualquer tipo de Fonte:

1. Método directo: Medição antes e medição após a instalação da Barreira, no mesmo ponto.
2. Método indirecto: Medição após a instalação da Barreira, no ponto pretendido e em outro ponto considerado equivalente a esse ponto sem a influência da Barreira.

A norma [11] estabelece que, no método directo, deve ser garantida equivalência das condições meteorológicas.

Em termos de vento, é considerado existir equivalência nas medições antes e após a instalação da Barreira, se a Classe de Vento do Quadro 7 se mantiver a mesma.

**Quadro 7: Classes de Vento (ISO 10847)**

Classes de vento		Componente do vector velocidade
Todas as distâncias	Vento a favor	+1 a +5 m/s
	Pouco vento	-1 a +1 m/s*
Pequenas distâncias	Vento a favor	+1 a +5 m/s
	Pouco vento	-1 a +1 m/s
	Vento contra	+1 a -5 m/s

\* Apenas no caso de inversão de temperatura.

As condições de pequena distância são as seguintes ( $h_s$ : altura da Fonte;  $h_r$ : altura do Receptor;  $h_{barr}$ : altura da Barreira;  $d_{fb}$ : distância Fonte/Barreira;  $d_{br}$ : distância Barreira/Receptor):

1. Medições antes da Barreira:

- $(h_s+h_r)/(d_{fb}+d_{br})>0,1$ .
- Por exemplo,  $h_s = 0,5$  m e  $h_r = 1,5$  m, tem-se  $(d_{fb}+d_{br}) < 20$  m.

2. Medições após a Barreira:

- $(h_s+h_{barr})/d_{fb}>0,1$ ;
- $(h_{barr}+h_r)/d_{br}>0,1$ .
- Por exemplo,  $h_s = 0,5$  m,  $h_r = 1,5$  m e  $h_{barr} = 4$  m, tem-se  $d_{fb} < 45$  m e  $d_{br} < 55$  m.

Em termos de Temperatura, é considerado haver equivalência se a diferença não for superior a 10 °C, e se o gradiente vertical de temperatura for semelhante.

Em termos de Humidade não é referido valor limite, mas é indicada a necessidade de condições similares.

Em termos de nebulosidade é considerado existir equivalência nas medições antes e após, se a Classe de Nebulosidade do Quadro 8 se mantiver a mesma.

**Quadro 8: Classes de Nebulosidade (ISO 10847)**

Classes de Nebulosidade	Descrição
1	Dia ou noite altamente nublado (80% ou mais de cobertura de nuvens durante 100% do tempo de medição)
2	Dia ou noite moderadamente nublado (50% a 80% de cobertura de nuvens durante pelo menos 80% do tempo de medição)
3	Dia ou noite ligeiramente nublado (sol ou menos de 50% de cobertura de nuvens durante pelo menos 80% do tempo de medição)
4	Noite clara

### 3.1.5.2. Mais do que uma eficácia

Pelo que foi exposto, pode concluir-se que a norma [11] não recomenda que se garanta a representatividade da Eficácia da Barreira Acústica, por exemplo em termos médios anuais (poderá ser também em termos de média no mês mais crítico ou num dia; ver capítulo 3.1.6), uma vez que são apresentadas garantias de equivalência meteorológica nas medições antes e após a implementação da Barreira Acústica, mas não são apresentadas garantias que essas condições meteorológicas são de facto

representativas da média anual [57].

De acordo com o Anexo B da norma [4], temos que, uma medição durante o período diurno, com forte radiação solar, superfície seca e vento médio a fraco a favor, ou vento forte pouco a favor ( $45^\circ$ ) – tal configuração é permitida pela norma [11], conforme explicitado anteriormente, para qualquer distância – corresponde a uma situação Desfavorável/Homogénea de propagação sonora. Uma medição à noite – o que também é permitido de acordo com a norma [11], conforme explicitado anteriormente – corresponde, de acordo com o Anexo B da norma [4], a uma Condição Favorável de propagação sonora.

Nas circunstâncias descritas, apresentam-se na Figura 8 e na Figura 9, para comparação, os Mapas de Ruído transversais (malha de cálculo  $1 \times 1 \text{ m}^2$ ), obtidos no Cadna A/NMPB'96 (ver Apêndice A4), para uma via de tráfego rodoviário, com e sem o efeito de Barreira Acústica de 4 metros de altura, respectivamente para Condições Homogéneas de propagação e para Condições Favoráveis de propagação. Os resultados associados à linha mais baixa (1 m acima do solo) são apresentados no Quadro 9, estendendo os resultados no Cadna A/NMPB'96 até aos 200 metros de distância à via, onde é possível verificar que podem ocorrer diferenças de eficácia da Barreira Acústica, no exemplo, entre  $\pm 2 \text{ dB}$  até distâncias de 20 metros, e entre  $+ 2 \text{ dB}$  e  $- 7 \text{ dB}$  até distância de 200 metros, para Condições Homogéneas e Favoráveis.

Conclui-se assim que, caso a eficácia da Barreira Acústica faça cumprir os limites legais perto do limite em  $\pm 2 \text{ dB}$  – o que acontece frequentemente – será necessário algum cuidado na determinação da Eficácia média, ou eficácia mínima, não sendo sequer garantido que medições no período nocturno conduzam a eficácias mais seguras (mais reduzidas), pois, conforme constante no Quadro 9, a eficácia para Condições Favoráveis poderá ser maior ou menor do que a Eficácia para Condições Homogéneas, para pequenas distâncias, tendendo até para menores eficácias para Condições Homogéneas para maiores distâncias, o que de certa forma contraria o que seria expectável. De acordo com os resultados, as maiores eficácias para Condições Favoráveis ficam a dever-se ao facto de, sob a influência da Barreira Acústica os níveis sonoros serem praticamente iguais para Condições Favoráveis e para Condições Homogéneas, e sob a não influência da Barreira Acústica os níveis sonoros serem superiores para Condições Favoráveis.

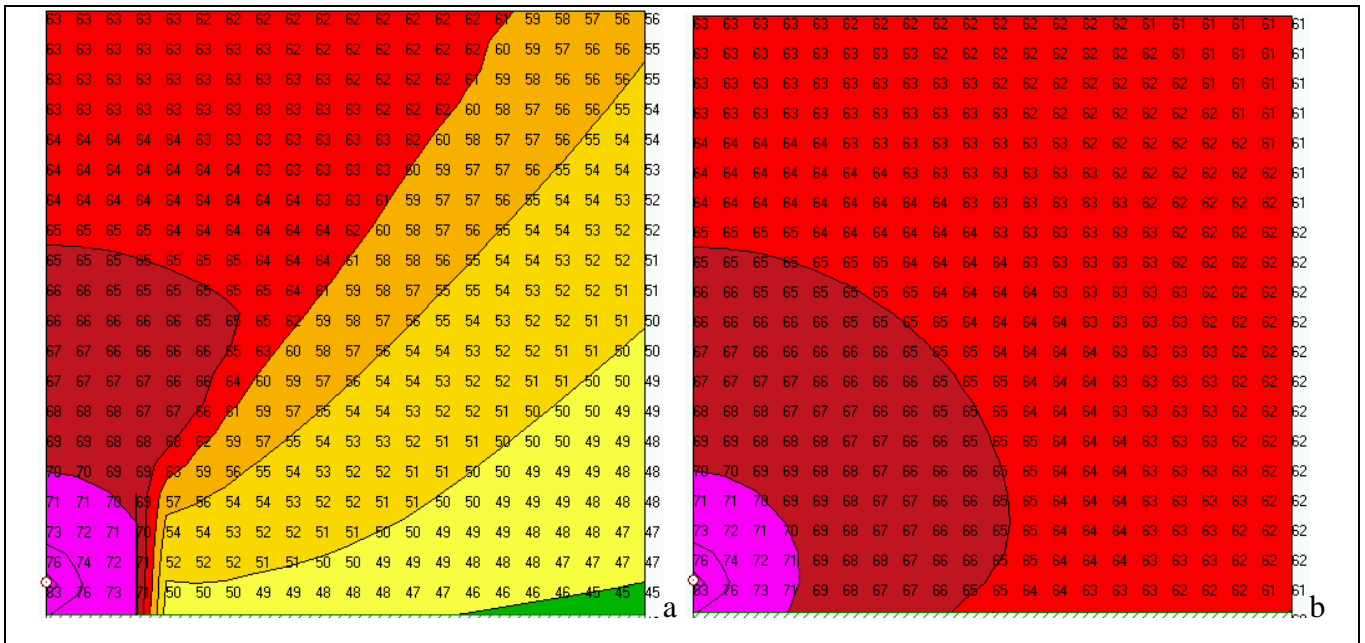


Figura 8: Mapas de Ruído transversais com (a) e sem (b) Barreira, para Condições Favoráveis

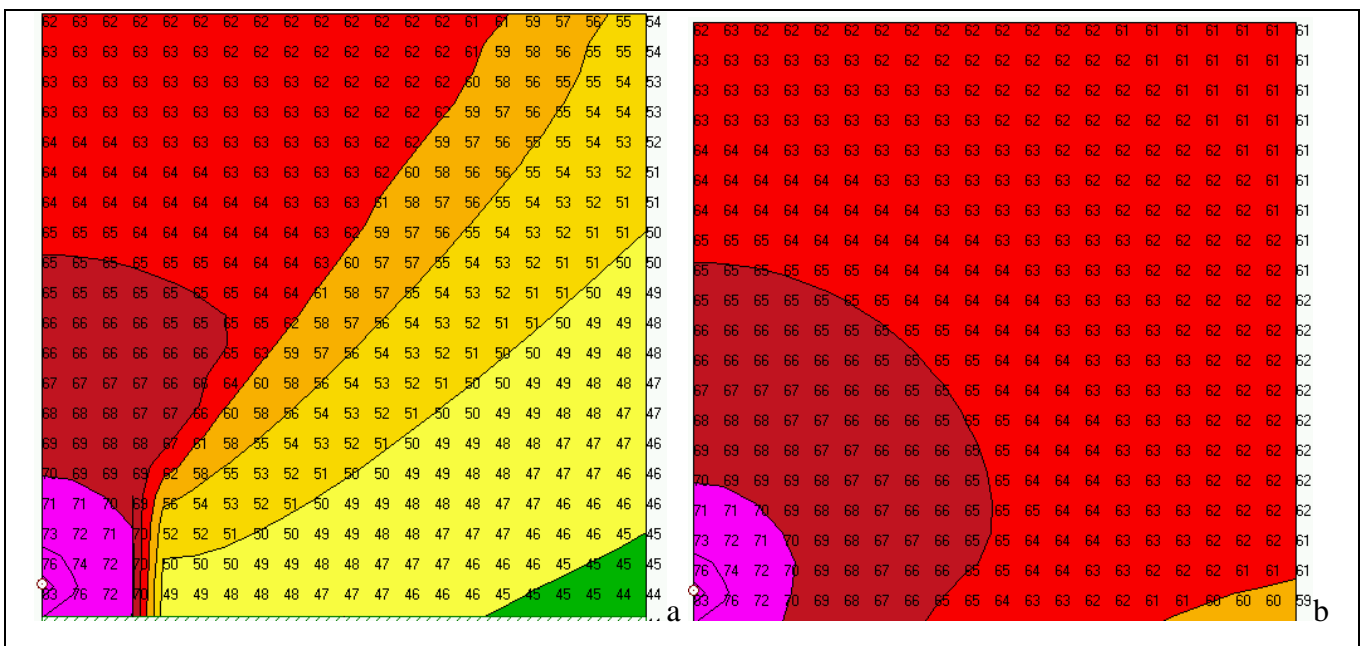


Figura 9: Mapas de Ruído transversais com (a) e sem (b) Barreira, para Condições Homogêneas

**Quadro 9: Diferentes eficácias para a mesma Barreira Acústica**

	Distância à via [m]																				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	50	100	200
<b>Níveis S/Barreira Cond. Favoráveis [dB(A)]</b>	73	71	69	68	67	67	66	65	65	64	64	63	63	63	62	62	62	61	56	52	48
<b>Níveis C/Barreira Cond. Favoráveis [dB(A)]</b>	73	71	50	50	50	49	49	48	48	48	47	47	46	46	46	46	45	45	39	35	30
<b>Eficácia Cond. Favoráveis</b>	0	0	19	18	17	18	17	17	17	16	17	16	17	17	16	16	17	16	17	17	18
<b>Níveis S/Barreira Cond. Homogéneas [dB(A)]</b>	72	70	69	68	67	66	65	65	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60	52	46	41
<b>Níveis C/Barreira Cond. Homogéneas [dB(A)]</b>	72	70	49	49	48	48	48	47	47	47	46	46	46	45	45	45	45	44	40	35	30
<b>Eficácia Cond. Homogéneas</b>	0	0	20	19	19	18	17	18	17	16	17	16	16	16	16	15	15	16	12	11	11
<b>Diferença de Eficácia</b>	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-2	0	-5	-6	-7

### 3.1.6. Representatividade das medições

O objectivo deste desenvolvimento de análise assenta na explicitação de factores julgados importantes, associados ao conceito de representatividade das medições, na medida em que se trata de um conceito relevante. Este desenvolvimento introduz factores “novos” (não constantes em outras referências) que se espera poderem auxiliar à selecção do procedimento de medição mais adequado que garanta, o mais possível, a representatividade das medições. Encontram-se entre esses factores “novos”, a conversão aproximada em tabela (Quadro 10) dos valores da Figura A.4 da norma [6] para a latitude de Portugal, a determinação dos períodos mais representativos em função da sua duração e dos níveis sonoros associados (capítulo 3.1.6.3) e evidência da viabilidade de utilização de sistemas de medição de Classe 2 (capítulo 3.1.6.5).

#### 3.1.6.1. Tipos de representatividade e estratégias de medição

Para se saber se o resultado de uma determinada medição de Ruído Ambiente é representativa, tem de

se saber em primeiro lugar a que se refere essa representatividade. Dentro do objectivo normal de medições para verificação do (in)cumprimento dos requisitos legais de Ruído Ambiente [10], é necessário distinguir 3 tipos de requisitos e subsequentemente 3 tipos de representatividade:

1. Artigo 11.º do RGR: as medições necessitam ser representativas da média anual do Ruído Ambiente;
2. Artigo 13.º, alínea b) (critério de incomodidade): as medições necessitam ser representativas da média no mês mais crítico do Ruído Ambiente e do Ruído Residual;
3. Artigo 15.º, n.º 5 e n.º 6 (actividades ruidosas temporárias): as medições necessitam ser representativas da média diária do Ruído Ambiente.

Pode-se distinguir 3 tipos de medições, com diferentes estratégias em termos de representatividade:

1. Mais do que uma amostragem, cada uma realizada num tempo mínimo, sem registo, ou apenas registo parcial, das características específicas das variáveis com influência durante as medições, e comparação dos resultados das amostras para, em caso de grande diferença, serem realizadas mais medições.

Trata-se de uma metodologia do tipo da recomendada, como mínimo, pelos Critérios [22], mas também do tipo da metodologia recomendada no ponto 7.3 da norma [58] e do tipo da metodologia recomendada, também como mínimo, nos antigos procedimentos de medição de Ruído Ambiente do ex. Instituto do Ambiente (actual Agência Portuguesa do Ambiente) [59]. Este tipo de metodologia possui algumas fragilidades, no sentido em que uma boa concordância entre os resultados de várias amostragens não significa obrigatoriamente uma boa representatividade das medições. Apresentam-se no capítulo 3.1.6.2 alguns resultados representativos das hipóteses de falha desta metodologia.

2. Medições por amostragem com registo/selecção das características específicas das variáveis com influência durante as medições para extrapolação para as condições representativas, de acordo com algum tipo de informação associada, e cálculo da respectiva incerteza da medição.

Trata-se de uma metodologia do género da que é recomendada na nova série de normas [5,6], no documento [60] e parcialmente nos Critérios [22]. Apresentam-se no capítulo 3.1.6.3 alguns desenvolvimentos de análise no sentido de determinação de quais os períodos mais representativos de medição, face à sua duração e aos níveis sonoros associados. Para outros desenvolvimentos associados consultar a referência [61].

3. Medições contínuas, ou quase contínuas.

Trata-se de uma metodologia que terá de ser seguida, pelo menos em alguns pontos, caso se pretendam menores incertezas de medição. No capítulo 3.1.6.4 efectuem-se alguns desenvolvimentos de análise associados à monitorização contínua.

### 3.1.6.2. Variáveis a controlar

Relativamente à média anual, à média no mês mais crítico e à média diária, a representatividade deve ter em conta as variações associadas pelo menos aos seguintes factores:

1. Emissão sonora da Fonte, ou Fontes:

- Variações anuais: Se a Fonte, ou Fontes, em causa, tiverem características de sazonalidade, por exemplo uma via de tráfego com mais, ou menos, tráfego no verão (ou inverno), se as diferentes amostras forem efectuadas no mesmo período sazonal, as diferenças entre as amostras podem ser pequenas mas os valores associados não serem representativos da média anual.
- Variações mensais: Se a Fonte, ou Fontes, em causa, tiverem características de diferente emissão ao fim-de-semana e feriados, por exemplo uma Indústria que labora com maior emissão sonora em dias úteis, do que ao fim-de-semana e feriados (ou vice versa), a caracterização, por exemplo, apenas em dias úteis pode conduzir a amostras com valores semelhantes mas cuja representatividade mensal dependerá do “peso” dos valores ao fim-de-semana e feriados. Poderá também ser necessário garantir que o mês caracterizado corresponde ao mês mais crítico.
- Variações diárias: Se a Fonte, ou Fontes, em causa, tiverem características de variação ao longo do dia, por exemplo uma via de tráfego com horas de ponta e horas de pouco tráfego, se as diferentes amostras forem efectuadas no mesmo tipo de período, no mesmo dia ou em dias distintos, as diferenças entre as amostras podem ser pequenas mas os valores associados não serem representativos da média diária.

2. Condições meteorológicas e do solo:

Variações anuais, mensais e diárias: Para maiores distâncias à Fonte, ou Fontes, em causa, as diferentes ocorrências meteorológicas ao longo do ano, ao longo do mês, ou ao longo do dia,

podem fazer com que ocorram valores significativamente diferentes para diferentes condições meteorológicas, pelo que uma eventual obtenção de diferentes amostras em iguais condições meteorológicas pode conduzir a valores significativamente diferentes da média anual, mensal ou diária. Em termos de condições do solo, também para maiores distâncias à Fonte, o facto de poderem ocorrer diferentes tipos de vegetação, ou de existência de superfícies de água, sobretudo ao longo do ano, mas também ao longo do mês e do dia, podem fazer com que ocorram valores diferentes ao longo desses períodos, pelo que uma eventual obtenção de diferentes amostras em iguais condições do solo pode conduzir a valores diferentes da média pretendida. Por exemplo, para uma Indústria com igual emissão sonora ao longo do dia, poderá não ser suficiente (depende sobretudo da distância à Fonte) caracterizar um único período (dia, entardecer ou noite), apesar da igual emissão sonora em todos os períodos, pois a probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora é normalmente maior à noite do que de dia.

#### 3. Ruído Residual:

- Definição de Ruído Ambiente: A maior ou menor importância do Ruído Residual, e o “peso” das suas variações, depende fortemente da definição de Ruído Ambiente, conforme referido no capítulo 4.1.12, pois o mesmo terá de ser incluído na avaliação, num caso [10], ou excluído da avaliação, no outro caso [12].
- Variações anuais, mensais e diárias: Se o Ruído Residual variar ao longo do dia, ao longo do mês e/ou ao longo do ano, poderá ser importante controlar o “peso” dessas variações na média pretendida, para poder escolher os períodos adequados de caracterização.

#### 4. Outros factores.

Incluem-se em outros factores que é necessário controlar, por exemplo, a eventual presença de obstáculos à propagação sonora que só existam num determinado período, e/ou diferentes características de Absorção Sonora dos obstáculos ao longo do dia, do mês e/ou do ano.

Pelo que foi exposto, emerge que só se poderá garantir a representatividade se forem conhecidos, de alguma forma, os níveis sonoros e as suas variações ao longo dos períodos que se pretendem caracterizar, caso contrário será necessário assumir variações típicas seguras (ver subcapítulos seguintes), que conduzem a valores incertos mas previsivelmente majorativos.

Relativamente ao caso concreto das condições meteorológicas, para que possa existir a hipótese de adaptar os resultados obtidos a outras condições meteorológicas, ou para que se possa verificar que se trata de uma situação representativa ou mais estável (condições favoráveis de propagação), deve-se controlar as condições meteorológicas durante as medições de ruído. Convirá notar que a sua influência é pequena (por isso poderá não ser necessário o seu controlo) nas seguintes condições, para solo poroso (para solo reflector podem ser permitidas maiores distâncias) [6]:

$$\frac{h_s+h_r}{d_{fr}} \geq 0,1$$

onde  $d_{fr}$  é a distância Fonte/Receptor,  $h_s$  a altura acima do solo da Fonte e  $h_r$  a altura acima do solo do Receptor.

Para outras condições é necessário controlar o Raio de Curvatura  $R$  dos raios sonoros, para garantir que se está em situação estável de propagação sonora (Condições Favoráveis), ou seja, segundo a norma [6]:

$$R < 10 \text{ km}$$

A obtenção do valor de  $R$  pode ser efectuada através da medição da velocidade e sentido do vento, e da temperatura, a 10 metros e a 0,5 metros acima do solo, através da seguinte equação [6]:

$$R = \frac{3,2}{0,6\Delta\tau + \Delta u \cos\theta} \text{ [km]} \quad (6)$$

Onde  $\Delta\tau$  é o valor numérico da diferença de temperaturas do ar, expressas em Kelvin, a 10 m e a 0,5 m acima do solo,  $\Delta u$  o valor numérico da diferença de velocidades do vento, expressas em m/s, a 10 m e a 0,5 m acima do solo e  $\theta$  o ângulo entre o sentido do vento e o sentido Fonte/Receptor.

Na norma [6] são indicadas algumas características (hora do dia, nebulosidades e vento) que satisfazem tipicamente a exigência  $R < 10$  km (de notar que em certas condições de altura da Fonte e/ou do Receptor podem ser possíveis raios de curvatura maiores, inclusive raios negativos).

Apresentam-se no Quadro 10 os períodos do dia retirados, de forma aproximada (de notar que em alguns meses existem variação de cerca de 1 hora nas limitações dos período em causa), da Figura A.4 da norma [6], para uma latitude de 35° [a latitude de Portugal continental varia entre cerca de 36° (Faro) e 42° (Valença do Minho); a latitude dos Açores varia entre cerca de 36° (Santa Maria) e 39° (Corvo); a latitude da Madeira é cerca de 32°].

**Quadro 10: Tipos de períodos do dia para a latitude de 35° (NP ISO 1996-2)**

Mês	Tipo de períodos do dia				D	Noite
	AA	A	B	C		
Janeiro	-	-	9h45-14h30	*-9h45 14h30-**	Desde o Nascer do Sol até 1,5 horas depois, e desde 1,5 horas antes do Pôr-do-sol até ao Pôr-do-sol.	Entre o Pôr-do-sol e o nascer do Sol
Fevereiro (1.ª metade)	-	-	9h15-15h00	*-9h15 15h00-**		
Fevereiro (2.ª metade)	-	11h00-13h30	9h00-11h00 13h30-15h15	*-9h00 15h15-**		
Março	-	9h30-14h30	8h30-9h30 14h30-15h45	*-8h30 15h45-**		
Abril	10h30-13h00	8h45-10h30 13h00-15h00	7h30-8h45 15h00-16h15	*-7h30 16h15-**		
Maiο	10h00-13h30	8h15-10h00 13h30-15h15	7h00-8h15 15h15-16h30	*-7h00 16h30-**		
Junho	10h00-14h00	8h00-10h00 14h00-15h30	7h00-8h00 15h30-16h45	*-7h00 16h45-**		
Julho	10h00-14h00	8h15-10h00 14h00-15h30	7h15-8h15 15h30-16h45	*-7h15 16h45-**		
Agosto	10h30-13h30	8h45-10h30 13h30-15h30	7h30-8h45 15h30-16h30	*-7h30 16h30-**		
Setembro	-	9h30-14h30	8h00-9h30 14h30-16h00	*-8h00 16h00-**		
Outubro	-	10h30-13h30	8h30-10h30 10h30-15h15	*-8h30 15h15-**		
Novembro	-	-	9h30-14h30	*-9h30 14h30-**		
Dezembro	-	-	10h00-14h00	*-10h00 14h00-**		

De notar que no Tipo C o \* significa: Desde 1,5 horas depois do Nascer do Sol, e o \*\* significa: Até 1,5 horas antes do Pôr-do-sol.

No Quadro 11 apresentam-se, para os períodos do dia definidos no Quadro 10, quais as condições de Nebulosidade e Vento que garantem  $R < -10$  km, para “Situação Alta” ( $h_s \geq 1,5$  m e  $h_r \geq 1,5$  m) e  $R < 10$  km para “Situação Baixa” ( $h_s < 1,5$  m e  $h_r \leq 1,5$  m).

Do que foi exposto verifica-se que, para controlo das condições atmosféricas é necessário o seguinte controlo durante as medições de ruído:

1. Medição da velocidade e sentido do vento e medição da temperatura do ar, a 10 metros e a 0,5 metros acima do solo.
2. Em alternativa poderá ser controlada a hora do dia (confrontação com o Quadro 10), a nebulosidade e velocidade e sentido do vento a 10 m de altura (confrontação com o Quadro 11). De notar que uma vez que a velocidade do vento aumenta normalmente com a altura, está-se numa posição de segurança ao utilizar os valores e sentido do vento registados a altura menor, como representativos dos valores a 10 metros de altura.

**Quadro 11: Condições de nebulosidade e de vento que garantem estabilidade meteorológica (NP ISO 1996-2)**

Tipo de período do dia	Nebulosidade	Velocidade do vento a 10 metros de altura, em m/s, no sentido Fonte→Receptor	
		R < -10 km (Situação Alta, d > 50 m)	R < 10 km (Situação Baixa, d > 25m)
A	8/8 espessa e densa	≥0,4	≥1,3
	6/8 a 8/8	≥1,2	≥2,0
	<6/8	≥2	≥2,7
B	8/8 espessa e densa	≥0,2	≥1,2
	6/8 a 8/8	≥0,9	≥1,7
	<6/8	≥1,6	≥2,3
C	8/8 espessa e densa	≥0	v0,9
	6/8 a 8/8	≥0,3	≥1,3
	<6/8	≥0,8	≥1,7
Noite	6/8 a 8/8	≥0,1	≥0,5
	<6/8	Velocidade do vento > 2 m/s Componente no sentido Fonte→Receptor ≥0,1	
D	Apenas medições junto à Fonte		

Situação Alta:  $h_s \geq 1,5$  m e  $h_r \geq 1,5$  m, ou  $h_s < 1,5$  m e  $h_s \geq 4$  m. Situação Baixa:  $h_s < 1,5$  m e  $h_s \leq 1,5$  m.

### 3.1.6.3. Períodos mais representativos em função da duração e dos níveis sonoros

A Média Energética estabelecida na equação (7) é válida para os casos em que cada nível sonoro tem igual peso.

$$L_{ME} = 10 \log_{10} \left[ \frac{\frac{L_1}{10^{10}} + \frac{L_2}{10^{10}} + \dots + \frac{L_m}{10^{10}}}{m} \right] \text{ [dB]} \quad (7)$$

No caso em que os níveis têm diferente peso (tipicamente duram mais ou menos tempo), deve-se escrever a Média Energética da seguinte forma, podendo passar a denominar-se por Média Energética Ponderada (MEP):

$$L_{MEP} = 10 \log_{10} \left[ \frac{t_1 \times 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 \times 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + t_n \times 10^{\frac{L_n}{10}}}{T} \right] \text{ [dB]} \quad (8)$$

Onde  $t_m$  corresponde à duração do nível  $L_m$ , e  $T = t_1 + t_2 + \dots + t_m$  ao tempo total.

Um caso especial da Média Energética Ponderada, corresponde à definição de Nível Dia-Entardecer-Noite,  $L_{den}$ , constante na Legislação [10], ou seja:

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

Esta equação é equivalente, de acordo com o que se explicitará melhor em seguida na equação (9), a:

$$L_{den} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_d-3}{10}} + 10^{\frac{L_e-4}{10}} + 10^{\frac{L_n+5}{10}} \right) \text{ [dB]}$$

ou seja:

$$L_{den} = (L_d - 3) \oplus (L_e - 4) \oplus (L_n + 5) \text{ [dB]}$$

Assim para, por exemplo:  $L_d = 60 \text{ dB(A)}$ ,  $L_e = 61 \text{ dB(A)}$  e  $L_n = 45 \text{ dB(A)}$ , pode-se calcular dois a dois, ou seja:  $(60 - 3) \oplus (61 - 4) \approx 60 \text{ dB(A)}$ ;  $60 \oplus (45 + 5) \approx 60 \text{ dB(A)}$ .

Uma vez que a Média Energética Ponderada goza também da propriedade associativa, torna-se genérica a análise de apenas 2 períodos onde a equação (8) assume a especial relação:

$$L_{MEP} = 10 \log \left( \frac{T_1}{T} 10^{\frac{L_{eq,T1}}{10}} + \frac{T-T_1}{T} 10^{\frac{L_{eq,T2}}{10}} \right) \text{ [dB]}$$

O que pode ser escrito da seguinte forma:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( 10^{\frac{10 \log(\frac{T_1}{T})}{10}} 10^{\frac{L_{eq,T1}}{10}} + 10^{\frac{10 \log(\frac{T-T_1}{T})}{10}} 10^{\frac{L_{eq,T2}}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (9)$$

Fazendo:

$$K_{T1} = 10 \log \left( \frac{T_1}{T} \right) \text{ [dB]}$$

$$K_{T2} = 10 \log \left( \frac{T-T_1}{T} \right) \text{ [dB]}$$

Resulta:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{eq,T1}+K_{T1}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,T2}+K_{T2}}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (10)$$

Ou seja, a média energética ponderada de 2 níveis sonoros é igual à soma energética desses 2 níveis sonoros corrigidos de uma constante função da respectiva percentagem de duração.

Veja-se, no Quadro 12, quais os valores assumidos por  $K_{T1}$  e por  $K_{T2}$  em função de  $\frac{T_1}{T}$ , onde  $n$  assume valores entre 1 e  $+\infty$ .

**Quadro 12:  $K_{T1}$  e  $K_{T2}$  em função de  $T_1/T$**

Tipo	$T_1/T$	$K_{T1}$	$K_{T2}$	Tipo	$T_1/T$	$K_{T1}$	$K_{T2}$	Tipo	$T_1/T$	$K_{T1}$	$K_{T2}$
A	$T_1/T > 0,89$	0	$-\infty$	A <sup>1</sup>	$0,089 < T_1/T \leq 0,11$	-10	0	A <sup>n</sup>	$0,89 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 1,1 \times 10^{-n}$	$-10n$	0
B	$0,71 < T_1/T \leq 0,89$	-1	-7	B <sup>1</sup>	$0,071 < T_1/T \leq 0,089$	-11	0	B <sup>n</sup>	$0,71 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,89 \times 10^{-n}$	$-10n-1$	0
C	$0,56 < T_1/T \leq 0,71$	-2	-4	C <sup>1</sup>	$0,056 < T_1/T \leq 0,071$	-12	0	C <sup>n</sup>	$0,56 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,71 \times 10^{-n}$	$-10n-2$	0
D	$0,45 < T_1/T \leq 0,56$	-3	-3	D <sup>1</sup>	$0,045 < T_1/T \leq 0,056$	-13	0	D <sup>n</sup>	$0,45 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,56 \times 10^{-n}$	$-10n-3$	0
E	$0,35 < T_1/T \leq 0,45$	-4	-2	E <sup>1</sup>	$0,035 < T_1/T \leq 0,045$	-14	0	E <sup>n</sup>	$0,35 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,45 \times 10^{-n}$	$-10n-4$	0
F	$0,28 < T_1/T \leq 0,35$	-5	-2	F <sup>1</sup>	$0,028 < T_1/T \leq 0,035$	-15	0	F <sup>n</sup>	$0,28 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,35 \times 10^{-n}$	$-10n-5$	0
G	$0,22 < T_1/T \leq 0,28$	-6	-1	G <sup>1</sup>	$0,022 < T_1/T \leq 0,028$	-16	0	G <sup>n</sup>	$0,22 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,28 \times 10^{-n}$	$-10n-6$	0
H	$0,18 < T_1/T \leq 0,22$	-7	-1	H <sup>1</sup>	$0,018 < T_1/T \leq 0,022$	-17	0	H <sup>n</sup>	$0,18 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,22 \times 10^{-n}$	$-10n-7$	0
I	$0,14 < T_1/T \leq 0,18$	-8	-1	I <sup>1</sup>	$0,014 < T_1/T \leq 0,018$	-18	0	I <sup>n</sup>	$0,14 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,18 \times 10^{-n}$	$-10n-8$	0
J	$0,11 < T_1/T \leq 0,14$	-9	-1	J <sup>1</sup>	$0,011 < T_1/T \leq 0,014$	-19	0	J <sup>n</sup>	$0,11 \times 10^{-n} < T_1/T \leq 0,14 \times 10^{-n}$	$-10n-9$	0

Para melhor entendimento das expressões genéricas do Quadro 12, tem-se que, por exemplo, para o tipo de duração G<sup>4</sup>:  $0,22 \times 10^{-4} < T_1/T \leq 0,28 \times 10^{-4}$ ;  $K_{T1} = -10 \times 4 - 6 = -46$ ,  $K_{T2} = 0$ .

Apresentam-se no Quadro 13 as correspondências entre os tipos de duração do Quadro 12 e valores concretos associados a determinados períodos globais típicos. Conjugando a equação (10) com o Quadro 12, obtém-se o Quadro 14, que exprime o  $L_{eq,Global}$  em função de  $L_{eqT1}$ , de  $L_{eqT2}$  e de  $(L_{eqT1} + K_{T1})$ .

Para se entender melhor a aplicação do Quadro 14, veja-se o exemplo de um caso em que os Níveis Sonoros e os períodos são os seguintes, no período diurno:

1.  $T_1 = 4h$ ;  $L_{eqT1} = 75$  dB;
2.  $T_2 = 13-4h = 9$  h;  $L_{eqT2} = 70$  dB;
3.  $L_{eqT1} - L_{eqT2} = 5$  dB.

Sendo  $T_1 = 4h$ , está-se, de acordo com o Quadro 13, para o período diurno ( $T = 13h$ ), no tipo de duração F. Veja-se então o valor da linha  $L_{eqT1} - L_{eqT2} = 5$  dB na coluna F no Quadro 14: 2 na mancha de  $L_{eqT2}$ .

Assim tem-se  $L_{eq,Global} \approx L_{eqT2} + 2 = 70+2 = 72$  dB.

**Quadro 13: Tipos de duração nos períodos globais típicos**

Tipo	$T = 13$ h (Diurno)	$T = 8$ h (Nocturno)	$T = 3$ h (Entardecer)	1 Semana (7 dias)	1 mês (30 dias)	1 ano (12 meses; 30x12 dias)
A	$T_1 > 11h35^*$	$T_1 > 7h8$	$T_1 > 2h40$	$T_1 > 6d6h^{**}$	$T_1 > 26d17h$	$T_1 > 10m20d^{***}$
B	$9h12m < T_1 \leq 11h35$	$5h40 < T_1 \leq 7h8$	$2h7 < T_1 \leq 2h40$	$4d23h < T_1 \leq 6d6h$ ▲	$21d7h < T_1 \leq 26d17h$	$8m16d < T_1 \leq 10m20d$ ▲
C	$7h19 < T_1 \leq 9h12$	$4h30 < T_1 \leq 5h40$	$1h41 < T_1 \leq 2h7$	$3d22h < T_1 \leq 4d23h$	$16d19h < T_1 \leq 21d7h$	$6m22d < T_1 \leq 8m16d$
D	$5h48 < T_1 \leq 7h19$	$3h34 < T_1 \leq 4h30$	$1h20 < T_1 \leq 1h41$	$3d4h < T_1 \leq 3d22h$	$13d12h < T_1 \leq 16d19h$	$5m12d < T_1 \leq 6m22d$
E	$4h37 < T_1 \leq 5h48$	$2h50 < T_1 \leq 3h34$	$1h4 < T_1 \leq 1h20$	$2d11h < T_1 \leq 3d4h$	$10d12h < T_1 \leq 13d12h$	$4m6d < T_1 \leq 5m12d$
F	$3h40 < T_1 \leq 4h37$	$2h15 < T_1 \leq 2h50$	$0h51 < T_1 \leq 1h4$	$1d23h < T_1 \leq 2d11h$ ▲▲	$8d10h < T_1 \leq 10d12h$	$3m11d < T_1 \leq 4m6d$
G	$2h55 < T_1 \leq 3h40$	$1h47 < T_1 \leq 2h15$	$0h40 < T_1 \leq 0h51$	$1d13h < T_1 \leq 1d23h$	$6d14h < T_1 \leq 8d10h$	$2m19d < T_1 \leq 3m11d$ ▲▲
H	$2h19 < T_1 \leq 2h55$	$1h25 < T_1 \leq 1h47$	$0h32 < T_1 \leq 0h40$	$1d6h < T_1 \leq 1d13h$	$5d10h < T_1 \leq 6d14h$	$2m5d < T_1 \leq 2m19d$
I	$1h50 < T_1 \leq 2h19$	$1h8 < T_1 \leq 1h25$	$0h25 < T_1 \leq 0h32$	$1d0h < T_1 \leq 1d6h$	$4d5h < T_1 \leq 5d10h$	$1m20d < T_1 \leq 2m5d$
J	$1h28 < T_1 \leq 1h50$	$0h54 < T_1 \leq 1h8$	$0h20 < T_1 \leq 0h25$	$0d18h < T_1 \leq 1d0h$	$2d16h < T_1 \leq 4d5h$	$1m10d < T_1 \leq 1m20d$
A <sup>1</sup>	$1h10 < T_1 \leq 1h28$	$0h43 < T_1 \leq 0h54$	$0h16 < T_1 \leq 0h20$	$0d15h < T_1 \leq 0d18h$	$2d3h < T_1 \leq 2d16h$	$1m2d < T_1 \leq 1m10d$
B <sup>1</sup>	$0h55 < T_1 \leq 1h10$	$0h34 < T_1 \leq 0h43$	$0h13 < T_1 \leq 0h16$	$0d12h < T_1 \leq 0d15h$	$1d16h < T_1 \leq 2d3h$	$0m26d < T_1 \leq 1m2d$
C <sup>1</sup>	$0h44 < T_1 \leq 0h55$	$0h27 < T_1 \leq 0h34$	$0h10 < T_1 \leq 0h13$	$0d9h < T_1 \leq 0d12h$	$1d8h < T_1 \leq 1d16h$	$0m20d < T_1 \leq 0m26d$
D <sup>1</sup>	$0h35 < T_1 \leq 0h44$	$0h21 < T_1 \leq 0h27$	$0h8 < T_1 \leq 0h10$	$0d8h < T_1 \leq 0d9h$	$1d1h < T_1 \leq 1d8h$	$0m16d < T_1 \leq 0m20d$
E <sup>1</sup>	$0h28 < T_1 \leq 0h35$	$0h17 < T_1 \leq 0h21$	$0h6,5 < T_1 \leq 0h8$	$0d6h < T_1 \leq 0d8h$	$0d20h < T_1 \leq 1d1h$	$0m13d < T_1 \leq 0m16d$
F <sup>1</sup>	$0h22 < T_1 \leq 0h28$	$0h14 < T_1 \leq 0h17$	$0h5 < T_1 \leq 0h6,5$	$0d5h < T_1 \leq 0d6h$	$0d16h < T_1 \leq 0d20h$	$0m10d < T_1 \leq 0m13d$
G <sup>1</sup>	$0h17 < T_1 \leq 0h22$	$0h11 < T_1 \leq 0h14$	$0h4 < T_1 \leq 0h5$	$0d4h < T_1 \leq 0d5h$	$0d13h < T_1 \leq 0d16h$	$0m8d < T_1 \leq 0m10d$
H <sup>1</sup>	$0h14 < T_1 \leq 0h17$	$0h9 < T_1 \leq 0h11$	$0h3 < T_1 \leq 0h4$	$0d3h < T_1 \leq 0d4h$	$0d10h < T_1 \leq 0d13h$	$0m6d < T_1 \leq 0m8d$
I <sup>1</sup>	$0h11 < T_1 \leq 0h14$	$0h7 < T_1 \leq 0h9$	$0h2,5 < T_1 \leq 0h3$	$0d2,5h < T_1 \leq 0d3h$	$0d8h < T_1 \leq 0d10h$	$0m5d < T_1 \leq 0m6d$
J <sup>1</sup>	$0h9 < T_1 \leq 0h11$	$0h5 < T_1 \leq 0h7$	$0h2 < T_1 \leq 0h2,5$	$0d2h < T_1 \leq 0d2,5h$	$0d6h < T_1 \leq 0d8h$	$0m4d < T_1 \leq 0m5d$
A <sup>2</sup>	$0h7 < T_1 \leq 0h9$	$0h4 < T_1 \leq 0h5$	$0h1,5 < T_1 \leq 0h2$	$0d1,5h < T_1 \leq 0d2h$	$0d1,5h < T_1 \leq 0d2h$	$0m3d < T_1 \leq 0m4d$

\* 1h35 significa 11 horas e 35 minutos. Os restantes valores semelhantes têm igual significado.

\*\* 6d6h significa 6 dias e 6 horas. Os restantes valores semelhantes têm igual significado.

\*\*\* 10m20d significa 10 meses e 20 dias. Os restantes valores semelhantes têm igual significado.

▲ Este tipo de duração corresponde ao caso típico de 5 dias úteis com Níveis Sonoros superiores aos níveis nos 2 dias de fim-de-semana.

▲▲ Este tipo de duração corresponde ao caso típico de 2 dias de fim-de-semana com Níveis Sonoros superiores aos níveis nos 5 dias úteis.

▲▲ Este tipo de duração corresponde ao caso típico de cerca de 9 meses de inverno com Níveis Sonoros superiores aos níveis nos cerca de 3 meses de verão.

▲▲ Este tipo de duração corresponde ao caso típico de cerca de 3 meses de verão com Níveis Sonoros superiores aos níveis sonoros nos cerca de 9 meses de inverno.

Veja-se outro exemplo, de um caso em que os Níveis Sonoros e os períodos são os seguintes, no período nocturno:

1.  $T_1 = 2\text{h}; L_{eqT1} = 70 \text{ dB};$
2.  $T_2 = 8-2\text{h} = 6 \text{ h}; L_{eqT2} = 60 \text{ dB};$
3.  $L_{eqT1} - L_{eqT2} = 10 \text{ dB}.$

Sendo  $T_1 = 2\text{h}$ , está-se, de acordo com o Quadro 13, para o período nocturno ( $T = 8\text{h}$ ), no tipo de duração G. Veja-se então o valor da linha  $L_{eqT1} - L_{eqT2} = 10 \text{ dB}$  na coluna G no Quadro 14: -5 na mancha de  $L_{eqT1}$ .

Assim tem-se  $L_{eq,Global} \approx L_{eqT1} - 5 = 70-5 = 65 \text{ dB}.$

**Quadro 14: Nível Sonoro global devido à conjugação de 2 tipos de períodos**

$L_{eqT1} - L_{eqT2}$	$L_{eq,Global} - L_{eqT1}$										$L_{eq,Global} - L_{eqT2}$										$L_{eq,Global} - (L_{eqT1} + K_{T1})$									
	$K_{T1}$																				$K_{T2}$									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-18-n										
	$-\infty$	-7	-4	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
A*	B	C	D	E	F	G	H	I	J	A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>1</sup>	E <sup>1</sup>	F <sup>1</sup>	G <sup>1</sup>	H <sup>1</sup>	I <sup>1</sup>	I <sup>1+n</sup>											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
2	0	0	-1	-1	-1	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
3	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0									
4	0	0	-1	-2	-2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0									
5	0	0	-1	-2	-2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0									
6	0	0	-1	-2	-3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0									
7	0	0	-1	-2	-3	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0									
8	0	0	0	-2	-3	-4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0									
9	0	0	0	-2	-3	-4	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1									
10	0	0	0	0	-3	-4	-5	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1									
11	0	0	0	0	-3	-4	-5	5	4	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1									
12	0	0	0	0	0	-4	-5	-6	5	4	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1									
13	0	0	0	0	0	0	-5	-6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1									
14	0	0	0	0	0	0	-5	-6	-7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1									
15	0	0	0	0	0	0	0	-6	-7	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1									
16	0	0	0	0	0	0	0	0	-7	-8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1									
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	1									
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	8	7	6	5	5	4	4	3	2	1									
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	9	8	7	6	5	5	4	3	2									
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	9	8	7	6	5	5	4	3									
20+m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									

A coluna anterior, nesta mancha, desloca-se para baixo n linhas, sendo as linhas vazias preenchidas com 0. Na Coluna A<sup>n</sup> os valores 0 terminam na linha 10(n-1).

A linha anterior, nesta mancha, desloca-se para a direita m colunas, sendo as colunas vazias preenchidas por valores contínuos entre 11 e 9+m (coluna mais à esquerda nesta mancha; para m=1 não há colunas vazias). Passarão a ser valores 0 da mancha cor de laranja ( $L_{eqT1} + K_{T1}$ ) a partir da linha  $-K_{T1}+10$ .

\* Tipo de duração.

Verifica-se ainda, do Quadro 14, que ocorre uma prevalência de  $L_{eqT2}$ , desde que  $L_{eqT1}$  não esteja acima de  $L_{eqT2}$  mais do que os seguintes níveis sonoros, para cada um dos seguintes tipos de duração:  $J^n$  ( $10n-1$  dB);  $I^n$  ( $10n-2$  dB);  $H^n$  ( $10n-3$  dB);  $G^n$  ( $10n-4$ );  $F^n$  ( $10n-5$ );  $E^n$  ( $10n-6$ );  $D^n$  ( $10n-7$ );  $C^n$  ( $10n-8$ );  $B^n$  ( $10n-9$ );  $A^n$  ( $10n-10$ ); J (4 dB); I (3 dB); H (2 dB); G (1 dB); F (1 dB).

Verifica-se ainda, do Quadro 14, que ocorre uma prevalência de  $L_{eqT2}$ , com uma tolerância de 1 dB, desde que  $L_{eqT1}$  não esteja acima de  $L_{eqT2}$  mais do que os seguintes níveis sonoros, para cada um dos seguintes tipos de duração:  $J^n$  ( $10n+5$  dB);  $I^n$  ( $10n+4$  dB);  $H^n$  ( $10n+3$  dB);  $G^n$  ( $10n+2$ );  $F^n$  ( $10n+1$ );  $E^n$  ( $10n$ );  $D^n$  ( $10n-1$ );  $C^n$  ( $10n-2$ );  $B^n$  ( $10n-3$ );  $A^n$  ( $10n-4$ ); J (6 dB); I (5 dB); H (4 dB); G (3 dB); F (3 dB); E (2 dB).

Outro exemplo de aplicação do Quadro 14, será a determinação de qual o valor do nível sonoro necessário, com uma duração, por exemplo, de 1s, no período do entardecer, para que esse valor prevaleça no valor global relativamente ao valor complementar (3h-1s), e para que prevaleça o valor complementar. Verificando que  $1/(3600 \times 3) \approx 0,926 \times 10^{-4}$  (Quadro 12:  $K_{T1} = -10 \times 4 = -40$ ; tipo de duração  $A^4$ ), tem-se, de acordo com o Quadro 14, que, por mais alto que seja o valor do nível sonoro no período de 1s, relativamente ao nível sonoro no período complementar, ele nunca prevalecerá. No máximo poderá prevalecer esse valor corrigido da duração em causa ( $-10 \times 4 = -40$  dB), o que ocorrerá a partir de diferenças de Nível Sonoro superiores a  $-K_{T1} + 10 = 50$  dB. Relativamente à prevalência do valor do período complementar, de acordo com o Quadro 14, e de acordo com o referido anteriormente,  $L_{eqT2}$  prevalecerá desde que  $L_{eqT1}$  não esteja acima de  $L_{eqT2}$  mais do que  $10 \times 4 - 10 = 30$  dB. Admitindo uma tolerância de 1 dB,  $L_{eqT2}$  prevalecerá desde que  $L_{eqT1}$  não esteja acima de  $L_{eqT2}$  mais do que  $10 \times 4 - 4 = 36$  dB. Verifica-se assim que valores de níveis sonoros mais elevados em períodos menores do que 50% da totalidade do tempo, só podem prevalecer para os tipos de duração D e E, e desde que  $L_{eqT2}$  não seja mais de 1 dB (ou mais de 3 dB, com uma tolerância de 1 dB) inferior a  $L_{eqT1}$ .

Tem-se assim, por exemplo e em suma:

1. Para um período típico de 3 horas de ponta no período diurno (duração tipo G; ver Quadro 12), desde que o nível sonoro contínuo equivalente, nas horas de ponta, não seja mais do que 3 dB superior ao nível sonoro contínuo equivalente nas horas normais, prevalecerá, com uma tolerância de 1 dB, o nível sonoro contínuo equivalente nas horas normais (de notar que o aumento para o dobro do tráfego significa, *grosso modo*, um aumento de apenas 3 dB). Se o nível sonoro contínuo equivalente, nas 3 horas de ponta for 15 dB, ou mais, superior ao nível

sonoro contínuo equivalente nas 10 horas normais, prevalecerá o nível sonoro contínuo equivalente das horas de ponta corrigido ( $K_{TI}$ ) para o tempo de duração (no exemplo  $K_{TI} = -6$  dB).

2. Para os casos típicos (tipo de duração B) de valores em 5 dias úteis superiores aos valores em 2 dias de fim-de-semana (situação usual em zona residencial, sem actividades significativas ao fim-de-semana) ou valores em 9 meses de inverno superiores aos valores em 3 meses de verão (situação usual, por exemplo, em Lisboa, em que no período de verão há significativamente menos trânsito, ainda que tal facto não tenha de significar obrigatoriamente níveis sonoros mais reduzidos, devido, por exemplo a uma possibilidade de aumento da velocidade de circulação), verifica-se que os níveis sonoros nos dias úteis, ou nos meses de inverno, prevalecerão sempre, com uma tolerância de 1 dB, independentemente do nível sonoro (menor) no fim-de-semana ou no verão. Por esta razão são tipicamente, nos casos referidos, mais representativas as medições em dias úteis ou no período de inverno.
3. Para os casos típicos (tipo de duração F e G) de valores em 2 dias de fim-de-semana superiores aos valores em 5 dias úteis (situação usual nas proximidades de actividades com funcionamento especial ao fim-de-semana, tipo Estádios, Autódromos, Mercados, etc) ou valores em 3 meses de verão superiores aos valores em 9 meses de inverno (situação usual em zona turística<sup>2</sup>), verifica-se que os níveis sonoros nos dias úteis, ou nos meses de inverno, prevalecerão, com uma tolerância de 1 dB, desde que os níveis sonoros no fim-de-semana, ou no verão, não sejam superiores em mais de 3 dB (de notar que o aumento para o dobro do tráfego significa, *grosso modo*, um aumento de apenas 3 dB). Se os níveis sonoros no fim-de-semana forem superiores em mais de 7 dB prevalecerá, com uma tolerância de 1 dB, os níveis sonoros no fim-de-semana, corrigidos com o tempo de duração ( $K_{TI} = -5$  dB). Se os níveis sonoros no verão forem superiores em mais de 9 dB prevalecerá, com uma tolerância de 1 dB, os níveis sonoros nos meses de verão, corrigidos com o tempo de duração ( $K_{TI} = -6$  dB).

---

<sup>2</sup> De salientar que, por exemplo, a referência [63] conclui que, em alguns pontos, na zona de Portimão, não há grande diferença, em termos de níveis sonoros, entre o verão e o inverno, sobretudo devido ao facto de haver um contrabalanço entre o tráfego de inverno de acesso às escolas, que não há no verão, e o tráfego de turistas no verão, que não há no inverno; curioso resultado também, que revela de facto a especial necessidade de cuidado no estabelecimento das variações típicas dos níveis sonoros, foi obtido pela referência [64], no desenvolvimento do Mapa de Ruído da Vila Piscatória e Balnear de St<sup>o</sup> Luzia, em que os níveis sonoros no interior da Vila, no período de verão, eram inferiores aos níveis sonoros no período de inverno, devido o facto de no verão os estacionamento estarem todos ocupados e a maior parte das pessoas deslocarem-se a pé, enquanto no inverno havia mais movimentação de veículos.

### 3.1.6.4. Medições contínuas ou quase contínuas

No sentido de verificar as vantagens, desvantagens e especificidades, da monitorização contínua, foi realizada, em 2005, medição quase-contínua (pequenos períodos serviram para calibração do equipamento e para transferência dos dados) durante 1 semana no mês de Agosto (verão) [62].

A medição foi realizada em Estoi, junto à EN 2-6 (Rua de Faro), na varanda de habitação, com presença contínua de operador, conforme se ilustra na Figura 10, através de Sonómetro de Classe 1 NA27 da RION (ver Apêndice A4).

Em 2010 foi repetida a monitorização contínua durante 1 semana, no mesmo ponto, mas no período de inverno (mês de Dezembro) e com o funcionamento de sistema automático de registo de dados entretanto desenvolvido, para comparação dos resultados.

Apresentam-se na Figura 11 e na Figura 12, as médias dos valores obtidos em 2005 e em 2010, em termos de períodos diurno e nocturno da Legislação [35] (7h-22h e 22h-7h), revogada em 2007, e períodos diurno, do entardecer e nocturno (7h-20h, 20h-23h e 23h-7h), e  $L_{den}$ , da Legislação [10,12], actualmente em vigor.



**Figura 10: Apontamento fotográfico do local de medição contínua**

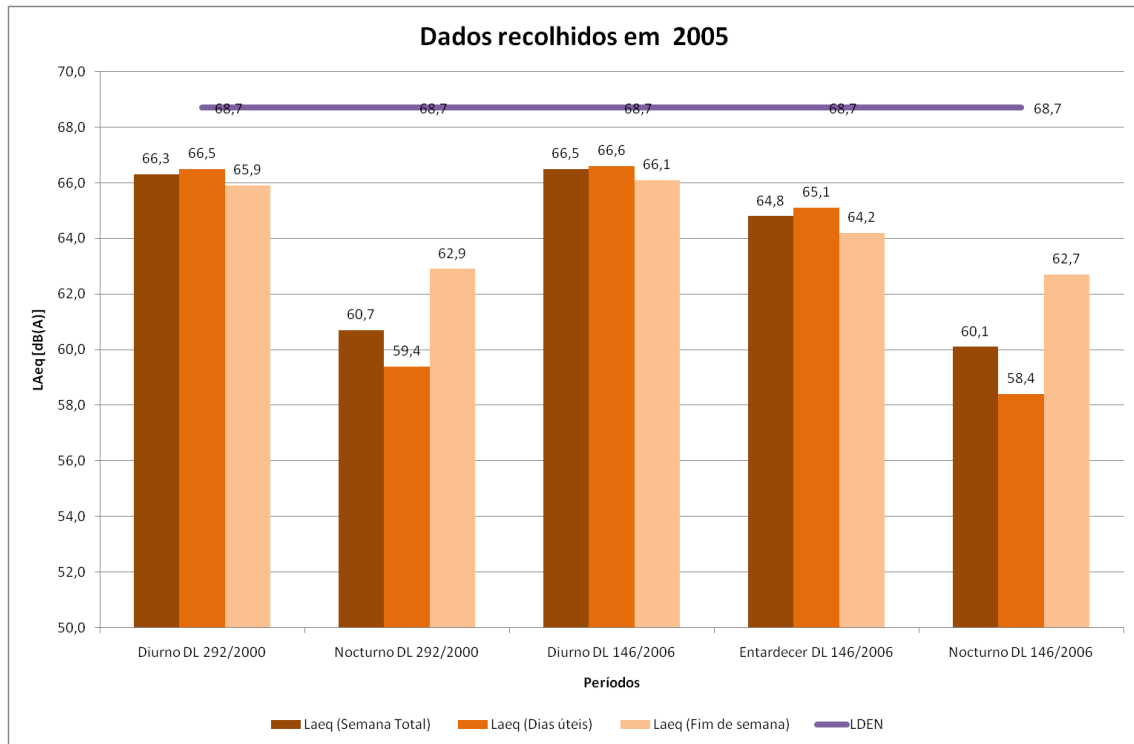


Figura 11: Médias dos níveis sonoros obtidos durante 7 dias no mês de Agosto em 2005

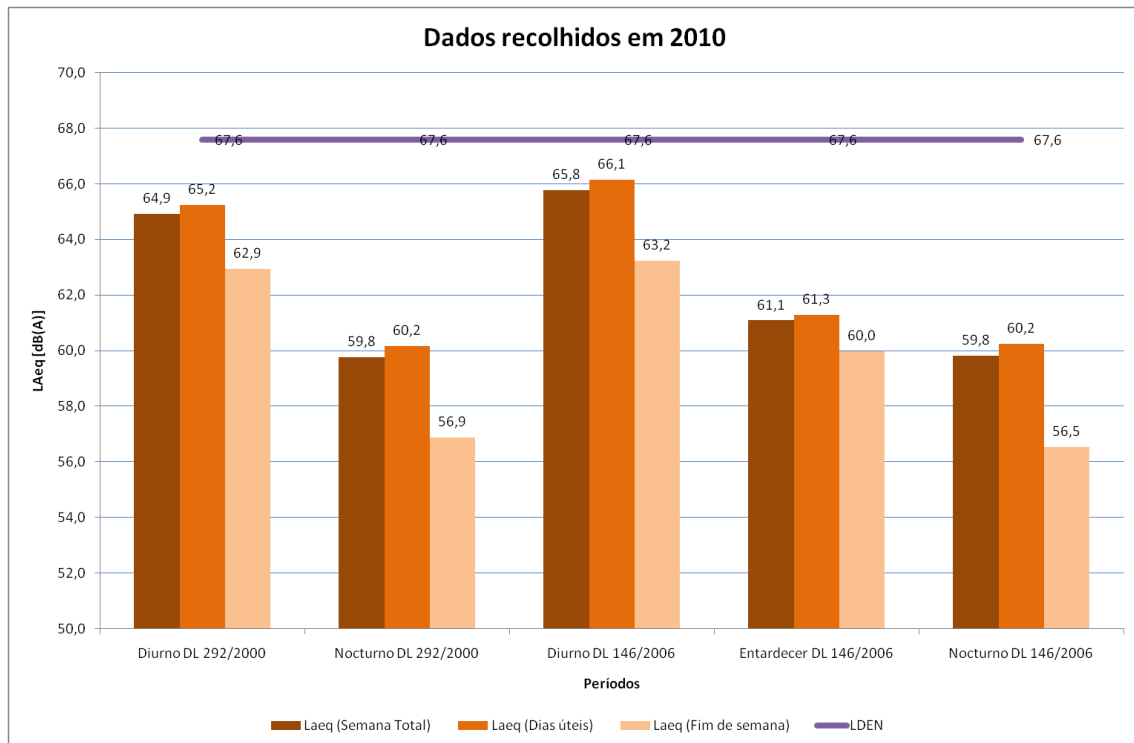


Figura 12: Médias dos níveis sonoros obtidos durante 7 dias no mês de Dezembro em 2010

Em termos de conclusões gerais das medições efectuadas destaca-se o seguinte:

1. Apesar de uma diferença de 5 anos entre as medições da Figura 11 e da Figura 12, e apesar de uma estar associada ao período de verão (Figura 11) e outra ao período de inverno (Figura 12), existem semelhanças assinaláveis, associadas às especificidades da principal Fonte de ruído (tráfego da EN 2-6), que demonstram a possibilidade de ocorrência de valores semelhantes mesmo em meses e anos significativamente diferentes, nomeadamente: diferenças de apenas cerca de 1 dB para  $L_{den}$  e para os períodos diurno e nocturno de dias úteis;
2. Para os períodos de entardecer de dia útil, e sobretudo para os fins-de-semana (todos os períodos), registam-se de facto valores diferentes (diferença máxima de 6 dB), provavelmente não devido à diferença de anos mas sim à diferença de meses, com valores mais elevados no período de verão (2005). De notar que, agora que os valores foram obtidos, parece fácil antecipar este tipo de resultados, na realidade, sem uma efectiva caracterização do local, não era fácil essa antecipação, pelo menos com o pormenor de uma variação de cerca de 1dB para o período diurno e nocturno de dias úteis, uma variação de cerca de 4 dB no período do entardecer de dias úteis e ao fim-de-semana, uma variação de cerca de 3 dB no período diurno ao fim-de-semana, e uma variação de cerca de 6 dB no período nocturno ao fim-de-semana. De notar também que, sem obtenção de mais informação, não é fácil garantir que a média dos valores obtidos, no verão e no inverno, seja representativa da efectiva média anual do local. De notar ainda que em termos de média de toda a semana existem diferenças significativa apenas em termos do período do entardecer;
3. No caso caracterizado, se a média global for corrigida adicionando 5 dB aos valores no período diurno ao fim-de-semana, conforme sugerido no capítulo 5.1.2, tendo por base a norma [5], então tem-se um ligeiro aumento da diferença para a média semanal global no período diurno, e uma diferença média de cerca de 2 dB, para o período diurno, considerando e não considerando essa correcção. No período de verão é mais significativa a diferença da consideração e não consideração da correcção de 5 dB ao fim-de-semana;
4. No caso em apreço, e de acordo com a variação diária apresentada na Figura 14, as médias horárias não diferem mais de 1 dB, relativamente às médias globais do período, para o período diurno e do entardecer, o que faz com possam ocorrer amostras relativamente representativas em qualquer hora desses períodos. No caso do período nocturno, as médias horárias mais próximas do valor global do período, correspondem aos períodos 0h-2h e 5h-7h, pelo que a

selecção dos períodos de amostra deveria ter este facto em atenção. De notar que para o período com maior variação (período nocturno), é necessária, tendo em conta os valores médios horários apresentados na Figura 14, uma caracterização em pelo menos 75 % da totalidade do período para garantir uma exactidão de  $\pm 2$  dB;

5. A primeira experiência, em 2005, de monitorização contínua com presença de operador, dado a memória do equipamento ser suficiente apenas para registar 30 minutos de medição, revelou a extrema necessidade de desenvolvimento de um sistema automático de registo em PC sem necessidade de presença de operador. O sistema desenvolvido de registo automático dos valores de segundo a segundo em PC, por Bandas de 1/3 de oitava, cria ficheiros com 14 KB/por minuto, o que significa que, no caso do registo completo de um dia será necessário gerir cerca de 20 MB de informação e 86400 valores de Banda Larga diferentes, no caso do registo completo de 1 mês será necessário gerir cerca de 600 MB de informação e cerca de 2592000 valores de Banda Larga diferentes, e no caso do registo completo de 1 ano será necessário gerir cerca de 7 GB de informação e cerca de 31104000 valores de Banda Larga diferentes, o que obriga à criação de sistemas automáticos de tratamento dessa informação para obtenção dos valores médios, máximos, mínimos,  $L_{den}$ , etc, pretendidos, pois é manifestamente prolongado o tempo necessário para tratamento normal dessa informação numa folha de cálculo típica (como ocorreu no presente trabalho);
6. Será importante salientar que mesmo com o uso de um sistema de monitorização contínua, poderão ocorrer incertezas não negligenciáveis associadas pelo menos aos seguintes factores [54], os quais deverão assim ser devidamente controlados:
  - Limites de temperatura e de humidade do sistema de medição. Fora desses limites as incertezas são maiores do que o valor indicado na norma [6];
  - Durante situações de vento forte ocorre usualmente uma indução de ruído parasita de baixa frequência nos resultados das medições;
  - Alguns sistemas de monitorização contínua não operam em situações de chuva o que induz incertezas no valor global obtido. Para aqueles em que é possível operar em situações de chuva, o ruído do tamborilamento dos hidrometeoritos sobre o equipamento, ou outras superfícies, pode induzir incertezas não desprezáveis;
  - Se o sistema de monitorização contínua estiver ligado à rede pública de energia e caso

ocorra uma ou várias quebras de energia relevantes, poderá perder-se o registo de níveis sonoros importantes;

- O sistema de monitorização contínua deverá ser calibrado, tipicamente, uma vez por dia [6] e, em condições normais, essa calibração significará o não registo de medições, o que poderá produzir uma incerteza não desprezável;
- O possível pousar de aves no sistema de monitorização contínua e/ou a fixação inesperada de objectos que viajam ao sabor do vento, como sejam sacos de plástico perdidos, ou a introdução de obstáculos que alterem significativamente os níveis sonoros registados, como seja o estacionar de uma camiã em frente ao sistema de monitorização, podem ter influência importante nos valores globais obtidos.

### 3.1.6.5. Viabilidade de utilização de sistemas de medição de Classe 2

No sentido de verificar a viabilidade de utilização de sistema de medição de Classe 2, usualmente mais baratos, em vez de sistemas de medição de Classe 1, usualmente mais caros, foi efectuada medição simultânea com um Sonómetro de Classe 1 (NA27 da RION) e com um Sonómetro de Classe 2 (8005 da PEAK TECH), exactamente no mesmo local onde foram efectuadas as medições anteriores: Estoi, junto à EN 2-6 (Rua de Faro), na varanda de habitação, conforme se ilustra na Figura 13. Os valores obtidos, ao longo de 1 dia, são apresentados na Figura 14, e revelam uma significativa concordância, com diferenças médias horárias não superiores a 1 dB, o que evidencia a possibilidade de utilização de sistemas de Classe 2 sem perda significativa de rigor (pelo menos nas condições caracterizadas), conforme é permitido inclusive na norma [6], no ponto “5.1 *Instrumentation system*” que refere que o sistema de medição deve cumprir os requisitos de Classe 1 ou de Classe 2 da norma [65].



**Figura 13: Apontamento fotográfico do local de medição, com o Sonómetro de Classe 1 e de Classe 2**

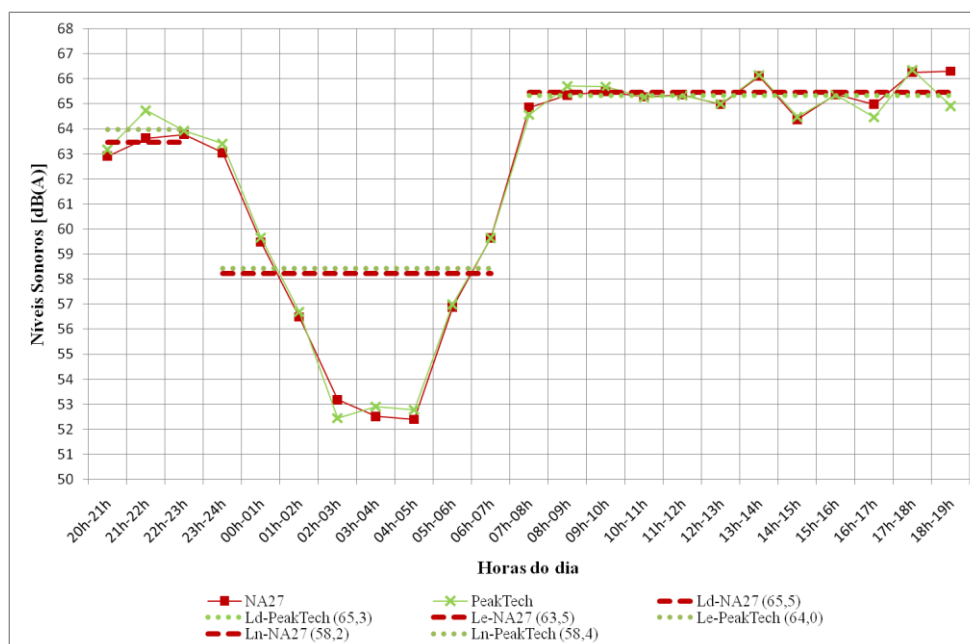


Figura 14: Diferença dos valores obtidos com Sonómetro de Classe 1 e de Classe 2

### 3.1.7. Tipos de limites legais existentes na Europa

Com o objectivo de verificar os tipos de requisitos existentes nos outros Estados Membros da União Europeia, e uma vez que por força de lei<sup>3</sup> os mesmos têm de apresentar à Comissão Europeia os respectivos limites, foi consultada, em 2008, no âmbito do presente trabalho, a base de dados pública CIRCA (*Communication & Information Resource Centre Administrator* [e6]) onde se encontra o repositório da informação disponibilizada pelos diferentes Estados Membros relativamente a esses limites.

Os resultados desta análise resumem-se no Quadro 15 [66].

<sup>3</sup> De acordo com o n.º 4 do Artigo 5.º da Directiva 2002/40/CE [27], tem-se: “O mais tardar em 18 de Julho de 2005, os Estados-Membros comunicarão à Comissão eventuais valores-limite pertinentes, expressos em termos de  $L_{den}$  e  $L_{night}$ , e, se for caso disso,  $L_{day}$  e  $L_{evening}$ , em vigor nos seus territórios ou em preparação, no que se refere ao ruído do tráfego rodoviário e ferroviário, ao ruído de aeronaves nas imediações dos aeroportos e ao ruído em instalações de actividade industrial, juntamente com explicações sobre a implementação dos valores-limite”.

**Quadro 15: Limites de Ruído Ambiente em vigor em 2008 na União Europeia (CIRCA)**

País	Tráfego rodoviário	Tráfego ferroviário	Tráfego aéreo	Indústrias
Alemanha (1) (4) (6)	$L_{den} \leq 56$ a $66$ dB(A) $L_{noite} \leq 49$ a $54$ dB(A)			
Áustria (3) (6)	$L_{noite}$ (22h-6h) $\leq 50$ dB(A) $L_{dia}$ (6h-22h) $\leq 60$ dB(A)	$L_{noite}$ (22h-6h) $\leq 60$ dB(A) $L_{dia}$ (6h-22h) $\leq 70$ dB(A)	-	-
Bélgica (Bruxelas) (1) (3) (6)	$L_{noite}$ (8h) $\leq 60$ dB(A) $L_{dia}$ (8h) $\leq 65$ dB(A)	$L_{noite}$ (22h-7h) $\leq 60$ ; $65$ ; $68$ dB(A) $L_{dia}$ (7h-22h) $\leq 65$ ; $70$ ; $73$ dB(A)	$L_{noite}$ (23h-7h) $\leq 45$ ; $50$ ; $55$ dB(A) $L_{dia}$ (7h-23h) $\leq 55$ ; $60$ ; $65$ dB(A)	$L_{noite}$ (22h-7h) $\leq 33$ a $54$ dB(A) $L_{dia}$ (7h-19h) $\leq 42$ a $60$ dB(A) $L_{entardecer}$ (19h-22h) $\leq 36$ a $60$ dB(A)
Bulgária (3) (6)	$L_{den} \leq 60$ dB(A) $L_{noite}$ (8h) $\leq 50$ dB(A) $L_{dia}$ (12h) $\leq 60$ dB(A) $L_{entardecer}$ (4h) $\leq 55$ dB(A)	$L_{den} \leq 65$ dB(A) $L_{noite}$ (8h) $\leq 55$ dB(A) $L_{dia}$ (12h) $\leq 65$ dB(A) $L_{entardecer}$ (4h) $\leq 60$ dB(A)	$L_{den} \leq 66$ dB(A) $L_{noite}$ (8h) $\leq 55$ dB(A) $L_{dia}$ (12h) $\leq 65$ dB(A) $L_{entardecer}$ (4h) $\leq 65$ dB(A)	$L_{den} \leq 76$ dB(A) $L_{noite}$ (8h) $\leq 70$ dB(A) $L_{dia}$ (12h) $\leq 70$ dB(A) $L_{entardecer}$ (4h) $\leq 70$ dB(A)
Chipre (1) (3) (6)	$L_{den} \leq 52$ a $65$ dB(A) $L_{noite} \leq 40$ a $53$ dB(A) $L_{dia} \leq 50$ a $63$ dB(A)	-	-	$L_{den} \leq 62$ a $65$ dB(A) $L_{noite} \leq 50$ a $53$ dB(A) $L_{dia} \leq 55$ a $63$ dB(A)
Dinamarca (1) (2) (3) (7)	-	-	$L_{den} \leq 45$ a $60$ dB(A) $L_{Max}^*$ (22h-7h) $\leq 70$ a $80$ dB(A)	-
Eslováquia	-	-	-	-
Eslovénia	-	-	-	-
Espanha (1) (3) (4) (6)	$L_{noite} \leq 45$ a $70$ dB(A) $L_{dia} \leq 55$ a $70$ dB(A) $L_{entardecer} \leq 55$ a $70$ dB(A)		$L_{noite}^{**} \leq 45$ a $70$ dB(A) $L_{dia}^{**} \leq 55$ a $70$ dB(A) $L_{entardecer}^{**} \leq 55$ a $70$ dB(A)	
Estónia	-	-	-	-
Finlândia (1) (3) (6)	$L_{den} \leq 48$ a $58$ dB(A) $L_{noite} \leq 41$ a $51$ dB(A)	$L_{den} \leq 53$ a $63$ dB(A) $L_{noite} \leq 42$ a $52$ dB(A)	$L_{den} \leq 45$ a $55$ dB(A) $L_{noite} \leq 40$ a $50$ dB(A)	$L_{den} \leq 48$ a $58$ dB(A) $L_{noite} \leq 41$ a $51$ dB(A)
França (3) (6)	$L_{den} \leq 68$ dB(A) $L_{noite} \leq 62$ dB(A)	$L_{den} \leq 73$ dB(A) $L_{noite} \leq 65$ dB(A)	$L_{den} \leq 55$ dB(A)	$L_{den} \leq 71$ dB(A) $L_{noite} \leq 60$ dB(A)
Grã-Bretanha	-	-	-	-
Grécia	-	-	-	-
Holanda (1) (2) (3) (5)	$L_{em}^{***} \leq 52$ a $55$ dB(A)	$L_{em}^{***} \leq 57$ dB(A)	$L_{em}^{***} \leq 50$ dB(A)	$L_{em}^{***} \leq 50$ a $55$ dB(A)
Hungria (3) (6)	$L_{den} \leq 63$ dB(A) $L_{noite} \leq 55$ dB(A)	$L_{den} \leq 63$ dB(A) $L_{noite} \leq 55$ dB(A)	$L_{den} \leq 63$ dB(A) $L_{noite} \leq 55$ dB(A)	$L_{den} \leq 46$ dB(A) $L_{noite} \leq 40$ dB(A)
Irlanda (3) (6)	$L_{den} \leq 60$ dB(A) $L_{noite} \leq 60$ dB(A) $L_{dia} \leq 60$ dB(A) $L_{entardecer} \leq 60$ dB(A)	-	-	$L_{noite} \leq 45$ dB(A) $L_{dia} \leq 55$ dB(A)
Itália	-	-	-	-
Letónia	-	-	-	-
Lituânia	-	-	-	-

(1) Valores limite diferentes em função do tipo de Receptor em causa, mais sensível ou menos sensível ao ruído.

(2) Valores limite diferentes em função do tipo de Fonte em causa, mais ruidosa ou menos ruidosa ou mais fácil ou menos fácil de condicionar.

(3) Valores limite diferentes ou específicos para cada tipo de Fonte (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias).

(4) Valores limite globais independentes do tipo de Fontes e integrando todos os tipos de Fonte ou mais do que um tipo (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias).

(5) Valores limite em função de um só parâmetro.

(6) Valores limite em função de mais do que um parâmetro médio.

(7) Valores limite também em função de valores máximos.

\* Nível máximo.

\*\* Correção para componentes tonais, impulsivas e/ou de baixa frequência.

\*\*\* Valor máximo dos seguintes 3 parâmetros:  $L_{dia}$ ,  $L_{entardecer}+5$  e  $L_{noite}+10$ .

\*\*\*\* O Estado-membro não define o significado deste parâmetro.

**Quadro 15: Limites de Ruído Ambiente em vigor em 2008 na União Europeia (CIRCA)  
(continuação)**

País	Tráfego rodoviário	Tráfego ferroviário	Tráfego aéreo	Indústrias
Luxemburgo (1) (4) (6)	$L_{noite} \leq 35$ a 60 dB(A) $L_{dia} \leq 45$ a 70 dB(A)			
Malta	-	-	-	-
Polónia	-	-	-	-
Portugal (1) (2) (4) (6)	$L_{den} \leq 55$ a 65 dB(A) $L_{noite} \leq 45$ a 55 dB(A)			
República Checa (1) (4) (6)	$L_{den} \leq 50$ a 70 dB(A) $L_{noite} \leq 40$ a 65 dB(A)			
Roménia (2) (3) (5)	$L_{ecq}^{****} \leq 60$ a 85 dB(A)	$L_{ecq}^{****} \leq 70$ dB(A)	$L_{ecq}^{****} \leq 90$ dB(A)	$L_{ech}^{****} \leq 65$ dB(A)
Suécia (1) (3) (6) (7)	$L_{eq}$ interior $\leq 30$ dB(A) $L_{max}$ interior $\leq 45$ dB(A) $L_{eq}$ exterior $\leq 55$ dB(A) $L_{max}$ exterior $\leq 70$ dB(A)	$L_{eq}$ interior $\leq 30$ dB(A) $L_{max}$ interior $\leq 45$ dB(A) $L_{eq}$ exterior $\leq 55$ dB(A) $L_{max}$ exterior $\leq 70$ dB(A)	$L_{eq}$ interior $\leq 30$ dB(A) $L_{max}$ interior $\leq 45$ dB(A) $L_{eq}$ exterior $\leq 55$ dB(A) $L_{max}$ exterior $\leq 70$ dB(A)	$L_{noite}$ (22h-7h) $\leq 35$ a 50 dB(A) $L_{dia}$ (7h-18h) $\leq 40$ a 60 dB(A) $L_{entardecer}$ (18h-22h) $\leq 35$ a 55 dB(A)

(1) Valores limite diferentes em função do tipo de Receptor em causa, mais sensível ou menos sensível ao ruído.

(2) Valores limite diferentes em função do tipo de Fonte em causa, mais ruidosa ou menos ruidosa ou mais fácil ou menos fácil de condicionar.

(3) Valores limite diferentes ou específicos para cada tipo de Fonte (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias).

(4) Valores limite globais independentes do tipo de Fontes e integrando todos os tipos de Fonte ou mais do que um tipo (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias).

(5) Valores limite em função de um só parâmetro.

(6) Valores limite em função de mais do que um parâmetro médio.

(7) Valores limite também em função de valores máximos.

\* Nível máximo.

\*\* Correção para componentes tonais, impulsivas e/ou de baixa frequência.

\*\*\* Valor máximo dos seguintes 3 parâmetros:  $L_{dia}$ ,  $L_{entardecer}+5$  e  $L_{noite}+10$ .

\*\*\*\* O Estado-membro não define o significado deste parâmetro.

Sendo os parâmetros  $L_{den}$ ,  $L_{dia}$ ,  $L_{entardecer}$  e  $L_{noite}$  os mais utilizados, e os estabelecidos na Directiva [27], julga-se pertinente apresentar quais os respectivos valores limite mais exigentes e menos exigentes actualmente (2008) em vigor nos diferentes Estados-membros que utilizam esses parâmetros (Figura 15), de acordo com a base de dados CIRCA.

Verificam-se assim os seguintes valores máximos e mínimos absolutos (MaxAbs e MinAbs) na União Europeia:

1. Nível dia ( $L_d$ ):

- Limite mínimo: 42 dB(A);
- Limite máximo: 73 dB(A).

2. Nível entardecer ( $L_e$ ):

- Limite mínimo: 36 dB(A);
- Limite máximo: 70 dB(A).

3. Nível noite ( $L_n$ ):

- Limite mínimo: 33 dB(A);
- Limite máximo: 70 dB(A).

4. Nível dia-entardecer-noite ( $L_{den}$ ):

- Limite mínimo: 45 dB(A).
- Limite máximo: 76 dB(A).

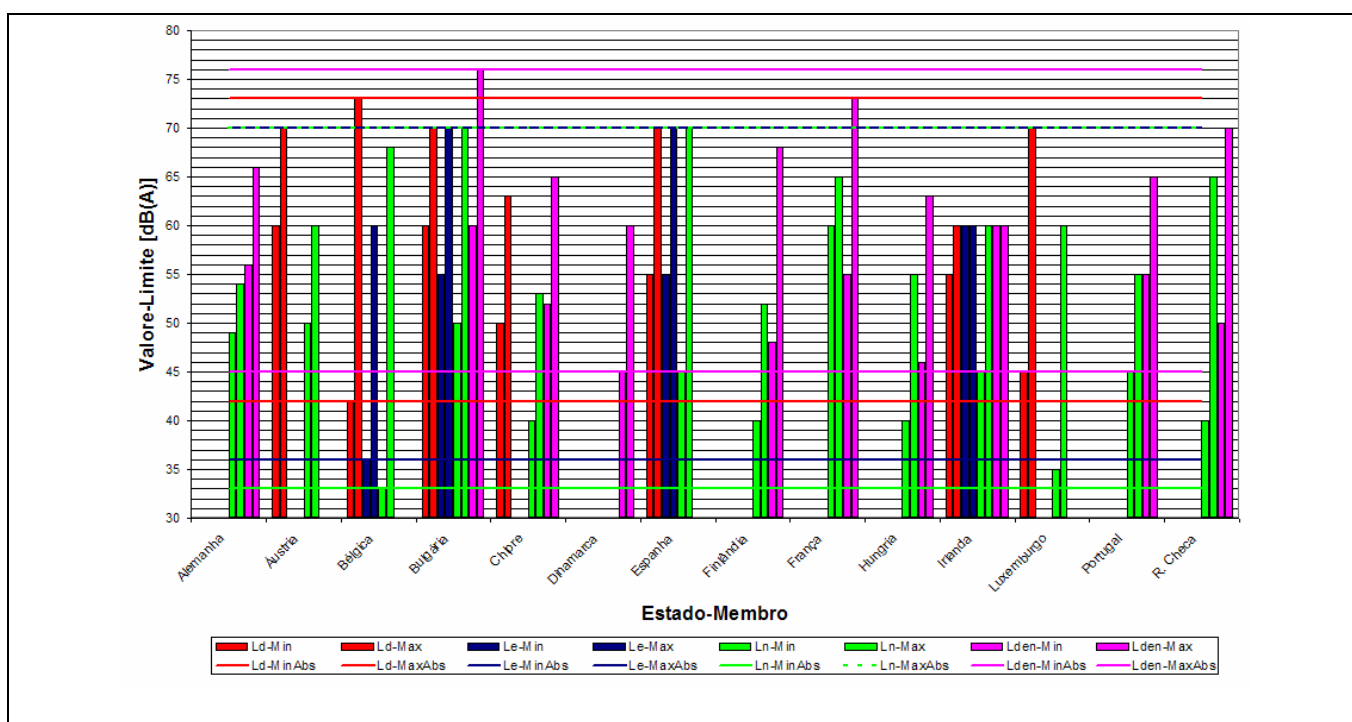


Figura 15: Valores limite mais e menos exigentes, em vigor em 2008 na União Europeia (CIRCA)

A análise dos valores limite patentes na base de dados CIRCA permite concluir em primeiro lugar que os requisitos Portugueses não são os mais exigentes nem os menos exigentes da União Europeia, e que existem, no essencial, 7 tipos de requisitos, com as seguintes vantagens/desvantagens.

1. **Tipo 1:** Valores limite diferentes em função do tipo de Receptor em causa, mais sensível ou menos sensível ao ruído, como é o caso dos requisitos legais de Ruído Ambiente de Alemanha, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Holanda, Luxemburgo, Portugal, República Checa e Suécia.

- Vantagens: Possibilidade de criar protecções sonoras distintas em função da maior ou

menor sensibilidade ao ruído e de direccionar os maiores esforços para as zonas mais sensíveis.

- **Desvantagens:** A distinção entre o que é mais e menos sensível ao ruído nem sempre é fácil, o que abre espaço à possibilidade de classificações menos justas nessas atribuições e/ou nas exigências associadas. Por exemplo, no caso Português [10], a igual classificação acústica de uma Escola e de uma habitação como Zona Sensível, por exemplo, faz com que os valores limite sejam distintos para os períodos usuais de maior sensibilidade de um e de outro uso [55 dB(A) para  $L_{den}$ , com maior “interesse” (ver capítulo 4.1.15) para as Escolas, dado o período de actividade e de necessidade de concentração e sossego corresponder usualmente ao diurno, e 45 dB(A) para  $L_{noite}$ , com maior interesse para as habitações, dado o período de descanso ser usualmente o nocturno]. Por outro lado a existência de requisitos mais exigentes para determinados Receptores, poderá tornar inviável a existência de determinadas infra-estruturas junto a esses Receptores, o que poderá conduzir à tentação do desaparecimento administrativo desse tipo de Receptores, ou à necessidade de medidas de redução de ruído economicamente inviáveis. Por exemplo, no caso Português, tem-se assistido a uma tendência de classificação da grande maioria do território com sensibilidade ao ruído como Zona Mista [10], em grande medida devido ao facto de esse tipo de zona possuir requisitos menos exigentes [67].

2. **Tipo 2:** Valores limite diferentes em função do tipo de Fonte em causa, mais ruidosa ou menos ruidosa, ou mais fácil ou menos fácil de condicionar, como é o caso dos limites de Ruído Ambiente de Dinamarca, que distingue limites para Aeroportos e Aeródromos, da Holanda que distingue limites para vias urbanas e não urbanas, da Roménia que distingue 4 categorias de estrada com valores limite diferentes, e também Portugal que tem limites diferentes para Grandes Infra-estruturas de Transporte.

- **Vantagens:** A existência de requisitos mais tolerantes quando as Fontes são mais ruidosas, aumenta a viabilidade económica das medidas de redução de ruído necessárias, podendo significar uma maior abrangência na protecção e uma maior facilidade no ordenamento do território.
- **Desvantagens:** Por exemplo, no caso Romeno, um Receptor Sensível junto a uma via de categoria 1, poderá ter níveis de 85 dB ( $L_{ecq}$ ), enquanto que um Receptor igualmente

sensível, junto a um via de 4.<sup>a</sup> categoria, poderá ter valores de 60 dB ( $L_{ecq}$ ), o que é uma diferença muito significativa para Receptores com igual sensibilidade ao ruído.

3. **Tipo 3:** Valores limite diferentes ou específicos para cada tipo de Fonte (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias), como é o caso dos limites de Ruído Ambiente de Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Hungria, Irlanda, Roménia e Suécia.

- Vantagens: Uma vez que o percipiente humano médio aparenta ter exigências diferenciadas para diferentes tipos de Fontes de ruído, de acordo com Estudos de dose-efeito já realizados [5], este tipo de requisito aproxima-se mais da percepção humana e permite, se bem aplicado, efectuar maiores e menores exigências nos sítios estatisticamente mais adequados.
- Desvantagens: Pode não ser consensual, por exemplo, que o tráfego ferroviário seja menos incomodativo que o tráfego rodoviário o que abre espaço à possibilidade de injustiças. Por outro lado, se os limites individuais, por tipo de Fonte, não forem complementados com uma limitação global, para o caso da coexistência de vários tipos de Fonte, podem ocorrer valores globais significativamente elevados e indesejados. Por exemplo, no caso Francês, permitir, para  $L_{den}$ , a existência de níveis de 68 dB(A) para tráfego rodoviário, 73 dB(A) para tráfego ferroviário, 55 dB(A) para tráfego aéreo e 71 dB(A) para indústrias, pode significar a permissão de um valor global de 76 dB(A) na coexistência dos 4 tipos de Fontes.

4. **Tipo 4:** Valores limite globais independentes do tipo de Fonte e integrando todos os tipos de Fontes ou mais do que um tipo (tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo ou Indústrias), como é o caso dos limites de Ruído Ambiente de Alemanha, Espanha, Portugal e República Checa.

- Vantagens: Inverso do referido para as vantagens e desvantagens do Tipo 3.
- Desvantagens: Não distinguir as Fontes de ruído que são percebidas como menos ou mais incomodativas pelo percipiente humano médio pode fazer com que se proteja em excesso certas situações, o que tem, obviamente, impactes negativos em termos económicos, ou que se proteja deficitariamente em outras situações, o que tem, obviamente, impactes negativos em termos de saúde pública.

5. **Tipo 5:** Valores limite em função de um só parâmetro, como é o caso dos limites de Ruído

Ambiente de Holanda e Roménia.

- Vantagens: Em determinadas situações quantos mais parâmetros existirem a enquadrar valores limite maior o tempo necessário para uma análise completa das especificações legais, o que poderá ter impactes negativos em termos económicos, dado os custos serem usualmente proporcionais ao número de horas de trabalho. Por outro lado, não é garantido que um maior número de parâmetros de limitação signifique necessariamente uma protecção mais eficaz. Por exemplo, no caso Português e no caso das Escolas, talvez fosse suficiente e preferível existir um único parâmetro limite associado ao período de actividade e não dois parâmetros (no caso  $L_{den}$  e  $L_{noite}$ ) que não estando direccionados em exclusivo para o período de actividade usual das Escolas (período diurno) podem não conduzir a uma protecção eficaz. Neste caso, uma limitação de 65 dB(A) para  $L_{den}$ , pode significar, por exemplo, caso os níveis sonoros nos períodos do entardecer e nocturno sejam desprezáveis [ $\leq 45$  dB(A)] um limite absurdo de 67 dB(A) para o período diurno. Isto demonstra, portanto, as fragilidades da protecção atribuída pelo parâmetro  $L_{den}$  às actividades com maior sensibilidade no período diurno (ver capítulo 4.1.15).
  - Desvantagens: As vantagens da utilização de mais do que um parâmetro médio – portanto as desvantagens de utilização de um único parâmetro – são maximizadas se forem utilizados os parâmetros associados aos diferentes períodos de maior sensibilidade dos percipientes sonoros, do que se forem utilizados só os indicadores  $L_{den}$  e  $L_{noite}$ , conforme exemplificado acima. Voltando ao exemplo das Escolas e das habitações, para o primeiro caso deverá utilizar-se sobretudo o parâmetro  $L_{dia}$  (ou um parâmetro associado ao período de actividade; ver capítulo 4.1.15) e para o segundo caso sobretudo o parâmetro  $L_{noite}$ . A utilização destes indicadores de ruído deve estar em estrita concordância com a necessidade de protecção, ainda que usualmente menos exigente, das habitações também nos períodos diurno e do entardecer bem como com a possibilidade de ocorrência de actividades escolares também nos períodos do entardecer e nocturno.
6. **Tipo 6**: Valores limite em função de mais do que um parâmetro médio, como é o caso dos limites de Ruído Ambiente de Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Espanha, Finlândia, França, Hungria, Irlanda, Luxemburgo, Portugal, República Checa e Suécia.

- Vantagens: Inverso do referido para as vantagens e desvantagens do Tipo 5, ou seja, se os diferentes parâmetros distinguirem efectivamente as diferentes sensibilidades médias, a protecção será mais efectiva e mais direccionada para a sensibilidade média da população.
- Desvantagens: Inverso do referido para as vantagens e desvantagens do Tipo 5, ou seja, apesar de uma análise mais complexa, se a distinção dos diferentes parâmetros não for consensual, pode incorrer-se em injustiças, as quais podem ocorrer ainda com maior probabilidade com o uso de um só parâmetro (tem é a vantagem de uma análise mais simples).

7. **Tipo 7**: Valores limite também em função de valores máximos, como é o caso dos limites de Ruído Ambiente de Dinamarca e Suécia.

- Vantagens: Como é sabido, as limitações efectuadas exclusivamente em termos de valores médios podem ser significativamente desfavoráveis em situações em que a distribuição dos níveis sonoros não seja regular, possuindo alguns picos. Quanto maior o período de abrangência do valor médio maior a probabilidade de ocorrência de irregularidades. Sendo os valores médios da legislação Europeia reportados a um período de um ano, verifica-se ser muito provável a ocorrência de irregularidades. Nestas circunstâncias, afigura-se importante e necessário complementar os limites de valor médio com limites de valor máximo, por forma a obviar a ocorrência de irregularidades indesejáveis e não controladas pelo uso exclusivo da limitação em termos de valores médios. De referir, a título de exemplo, que podem ocorrer valores médios durante um dia de 81 dB(A), durante uma semana de 72 dB(A) e durante um mês de 68 dB(A) e valores médios de 65 dB(A) nos períodos complementares aos referidos, para que o valor médio anual seja de 65 dB(A).
- Desvantagens: Se a limitação máxima não for cuidada, poderá incorrer-se em maiores dificuldades de limitação ou em acréscimos de custos para as medidas de redução de ruído. Poderá ser mais incerta a previsão dos valores máximos associados a determinado projecto, ou mesmo imprevisível, o que aumenta a dificuldade do dimensionamento prospectivo de medidas.

Por tudo o que foi exposto, pode concluir-se ser impossível estabelecer limites legais que consigam ser isentos de crítica e isentos de possibilidade de cometimento de injustiças com a sua aplicação estrita.

É também, ou sobretudo, por isso que a limitação legal terá de ser sempre uma decisão política e estratégica, onde estão quase sempre em confronto duas vertentes:

1. A económica, que pelo menos a curto prazo sairá a perder, quando as maiores exigências legais significam maior investimento com retorno incerto, ainda que não se deva perder de vista os prováveis e não negligenciáveis benefícios a médio e longo prazo;
2. A ambiental, em que as limitações ideais são muitas vezes técnica e economicamente inviáveis de conseguir, ainda que não se deva perder também de vista que o óptimo é muitas vezes inimigo do bom.

Pese embora o referido, procurar-se-ão efectuar as sugestões julgadas mais adequadas de correcção/complementação da legislação actualmente em vigor, sugestões essas que, no que concerne ao Ruído Ambiente Exterior (ver capítulo 5.1.2) têm em conta a análise aqui efectuada e que, em termos dos aspectos expostos que se julgam incontornáveis, se resumem aos seguintes 3:

1. Diferenciação dos limites para o tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, e para as Indústrias, tendo por base estudos estatísticos de dose-efeito, mas sem perder de vista um limite global de coexistência de Fontes;
2. Consideração de limites de valor máximo e não só limites de valor médio;
3. Não utilização isolada do parâmetro  $L_{den}$ , quando está em causa proteger Receptores em que a sua especial sensibilidade ao ruído não ocorre no período nocturno e distinguir os limites em cada período de referência em função da maior ou menor sensibilidade ao ruído dos usos em causa. No já citado exemplo da Escola típica, com actividade principal no período diurno, interessa impor limites adequados para o período de actividade e não limites de  $L_{den}$  e/ou  $L_{noite}$ .

### **3.1.8. Perspectivas de limitação futura de Ruído Ambiente**

De acordo com o documento [68], são os seguintes os objectivos de limitação futura do Ruído Ambiente na União Europeia (4.2. *Reference Targets for Future Research*):

1. Objectivo Mínimo:  $L_{den} \leq 65$  dB(A) e  $L_n \leq 55$  dB(A);
2. Objectivo Médio:  $L_{den} \leq 55$  dB(A) e  $L_n \leq 45$  dB(A);

3. Objectivo Óptimo:  $L_{den} \leq 50$  dB(A) e  $L_n \leq 40$  dB(A).

É possível também que os limites futuros tenham em conta outros indicadores, nomeadamente (5.1. *Strategic Priorities* [68]):

1. Efeitos das baixas frequências e vibração;
2. Efeitos de  $L_{Max}$ ;
3. Efeito de pequeno número de eventos (determinação do intervalo de número de eventos para o qual  $L_{den}$  e  $L_{noite}$  são válidos);
4. Efeito em períodos calmos.

De acordo com o documento [69], estão resumidos no Quadro 16 os efeitos de diferentes Níveis Sonoros na saúde pública (5.6 *Recommendations for Health Protection*).

**Quadro 16: Valores estabelecidos no Guia para Ruído Nocturno na Europa**

Nível Médio nocturno durante um ano $L_{noite,exterior}$	Efeito observado na população
$\leq 30$ dB	Apesar de as circunstâncias e sensibilidade individual poderem diferir, aparentemente, até este nível não são observados efeitos biológicos substanciais. $L_{noite,exterior} = 30$ dB corresponde ao NOEL ( <i>No Observed Effect Level</i> ; Nível de não observação de efeitos) para ruído nocturno.
30 a 40 dB	São observados alguns efeitos no sono nesta gama: movimentos na cama, acordar, sensação de distúrbio no sono. A intensidade do efeito depende da natureza da Fonte e do número de eventos. Grupos vulneráveis (por exemplo, crianças, doentes crónicos e idosos) são mais susceptíveis. No entanto, mesmo nos piores casos os efeitos parecem modestos. $L_{noite,exterior} = 40$ dB corresponde ao LOAEL ( <i>Lowest Observed Adverse Effect Level</i> ; Nível mais baixo de observação de efeitos adversos) para ruído nocturno.
40 a 55 dB	São observados efeitos adversos na saúde da população exposta. Muitas pessoas têm de adaptar a sua vida para fazer face ao ruído nocturno. Os grupos vulneráveis são afectados de forma mais severa.
$> 55$ dB	A situação é considerada de alto risco para a saúde pública. Efeitos adversos na saúde ocorrem com frequência, uma porção considerável da população é altamente incomodada e apresenta distúrbios no sono. Há evidências do aumento do risco de doenças cardiovasculares.

Por esta razão o *Night noise guideline* (NNG) [69] é [de notar que apesar de os valores virem expressos em dB, conforme recomendado inclusive pela norma [5], tratam-se de valores em dB(A)]: 40 dB

### 3.1.9. Valores máximos para Rodovias, Ferrovias e Aeroportos

Com vista a guiar a sugestão de limitação de Ruído Ambiente Exterior, constante no capítulo 5.1.2.2, também em termos de valores máximos, este desenvolvimento de análise apresenta os valores máximos associados às bases de dados dos modelos provisórios recomendados em Portugal pela legislação [12]. De notar que a determinação dos valores máximos não é directa, e exigiu a determinação de equações de relação entre parâmetros, cujas demonstrações constam no Apêndice A1, como se indica em seguida.

Tendo por base as seguintes relações entre  $L_{eq}$  e  $L_{Max}$ , para veículos rodoviários (ver demonstração no Apêndice A1.1) e para veículos ferroviários (ver demonstração no Apêndice A1.2) (para tráfego aéreo a base de dados já possui valores de  $L_{Max}$ ), onde  $d_{via}$  corresponde à distância à via em metros,  $v$  à velocidade dos veículos em km/h,  $L_{eq}(1h, 32m)$  aos valores da base de dados da norma [4],  $L_{eq}(1h, Comb)$  aos valores da base de dados da norma [30] considerados válidos para um período de 1h, e  $l$  ao comprimento do comboio em metros:

$$L_{Max} \approx L_{eq}(1h, 32m) + 39 + 10 \log(v) - 20 \log(d_{via}) \text{ [dB]}$$

$$L_{Max} \approx L_{eq}(1h, Comb) + 28 + 10 \log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d_{via}}\right)\right) - 10 \log\left(\frac{l}{v}\right) - 10 \log(d_{via}) \text{ [dB]}$$

e de acordo com os dados de base de emissão sonora ( $L_{eq}$ ) [30,46,47], apresentam-se na Figura 16, na Figura 17, na Figura 18 e na Figura 19, os valores de  $L_{Max}$  associados.

Verifica-se assim, poderem ocorrer valores máximos, para tráfego rodoviário (veículos Pesados), até cerca de 90 dB(A), para tráfego ferroviário até cerca de 90 dB(A), para velocidades regulares, e até 95 dB(A) para alta velocidade (de notar que a Decisão [70], relativa à especificação técnica de interoperabilidade para o subsistema «material circulante» do sistema ferroviário transeuropeu de alta velocidade, estabelece, no seu capítulo “4.2.6.5.4 Limites para o ruído na passagem”, que a 7,5m da via e a uma velocidade de 200 km/h o  $L_{Max}$  não deve ultrapassar 97 dB(A), e a 25 m da via e a 320 km/h o  $L_{Max}$  não deve ultrapassar 92 dB(A)], e para tráfego aéreo podem ocorrer (desprezando o

caso do *Concord*) valores de  $L_{Max}$  até 125 dB(A) a cerca de 60 metros de distância e até cerca de 118 dB(A) a cerca de 120 metros de distância.

Apresentam-se assim como significativamente exigentes os valores de  $L_{Max}$ , exterior, entre 70 dB(A) e 80 dB(A) [para um  $L_{Max}$  de 70 dB(A) no exterior tem-se um  $L_{Max}$  de 45 dB(A) no interior, o que significa um isolamento sonoro de fachada de cerca de 35 dB] estabelecidos pela legislação Dinamarquesa e Sueca, de acordo com a base de dados CIRCA (ver capítulo 3.1.7), pelo que se afigura que uma eventual adopção desses limites de  $L_{Max}$  pela legislação Portuguesa deva conter alguma abertura a casos particulares que podem ocorrer, ainda que indesejados, tendo em conta os valores apresentados nas figuras seguintes (ver capítulo 5.1.2).

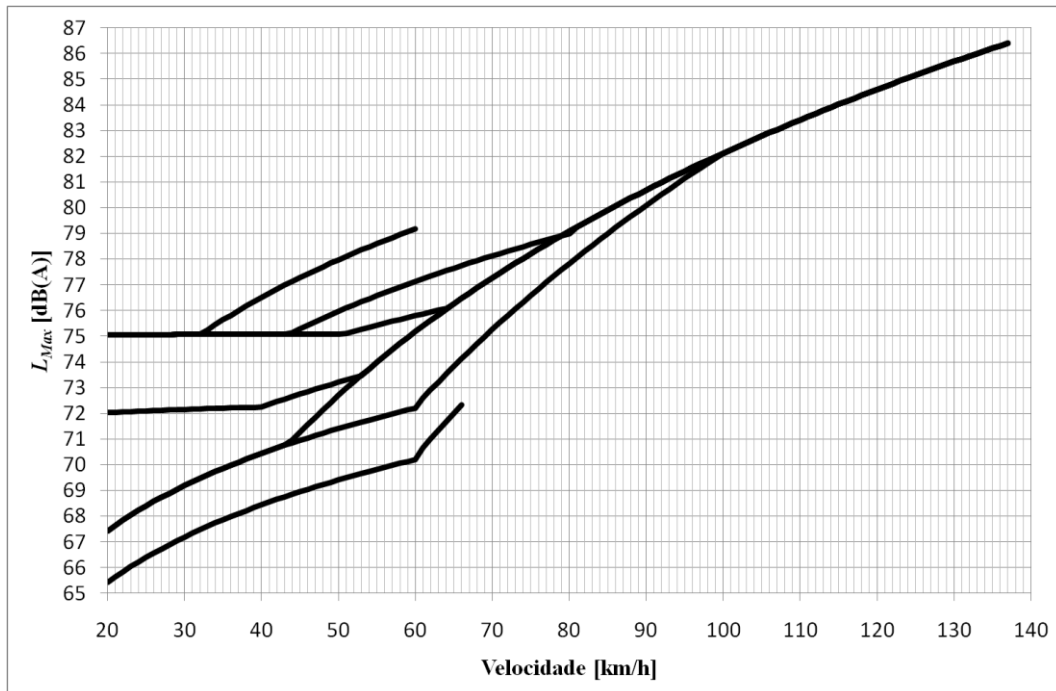


Figura 16: Valores de  $L_{Max}$ , a 5 m da via, para veículos Ligeiros, de acordo com NMPB'96

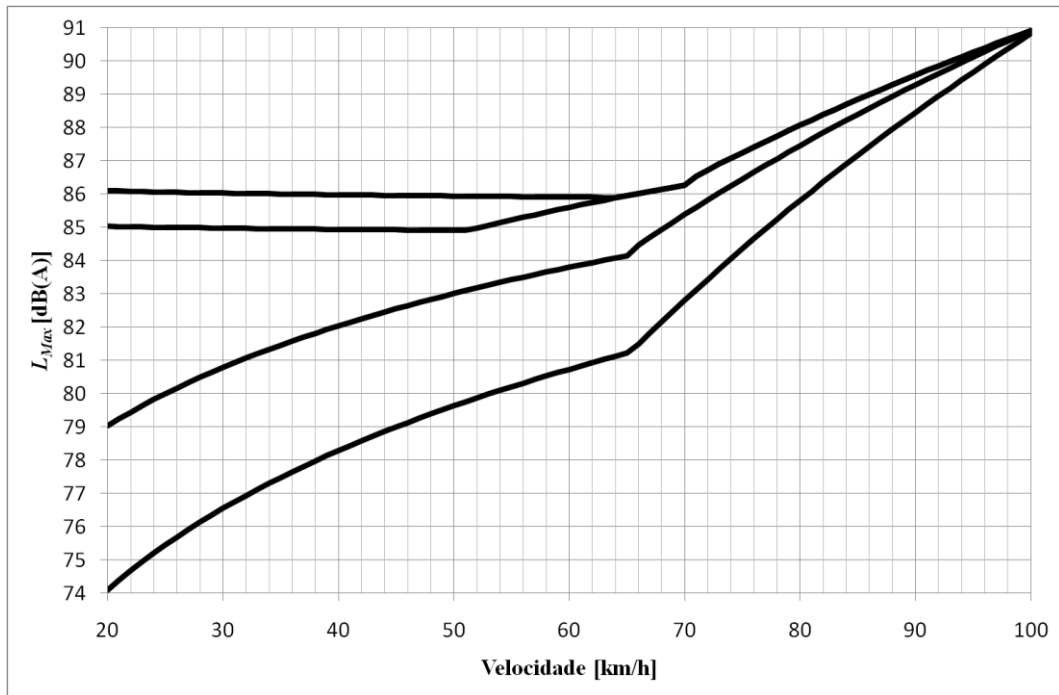


Figura 17: Valores de  $L_{Max}$ , a 5 m da via, para veículos Pesados, de acordo com NMPB'96

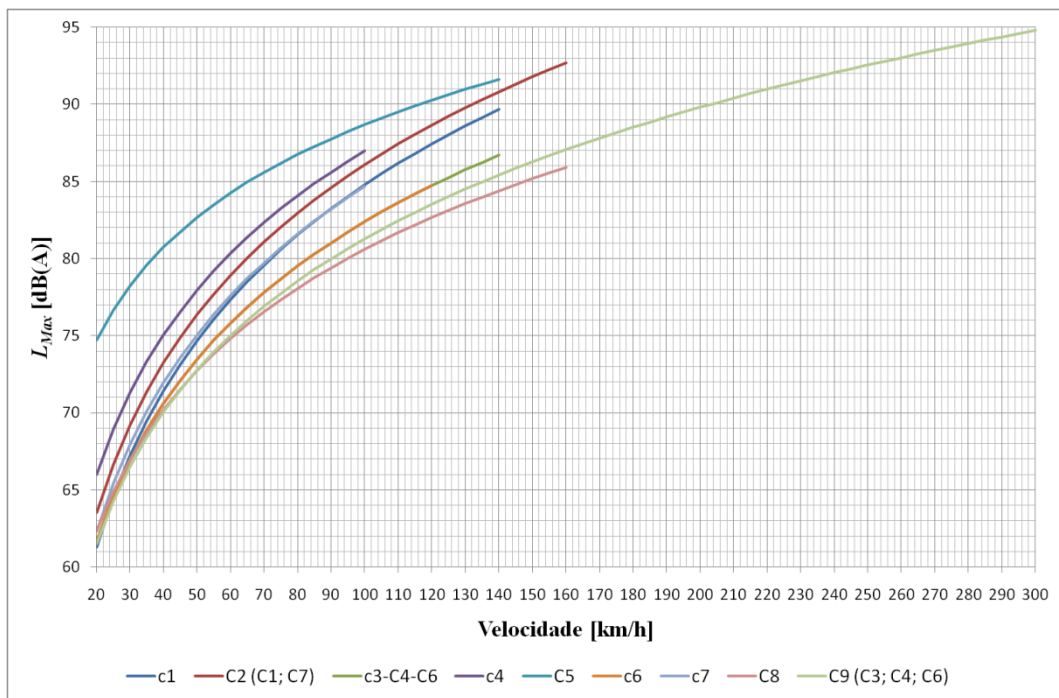
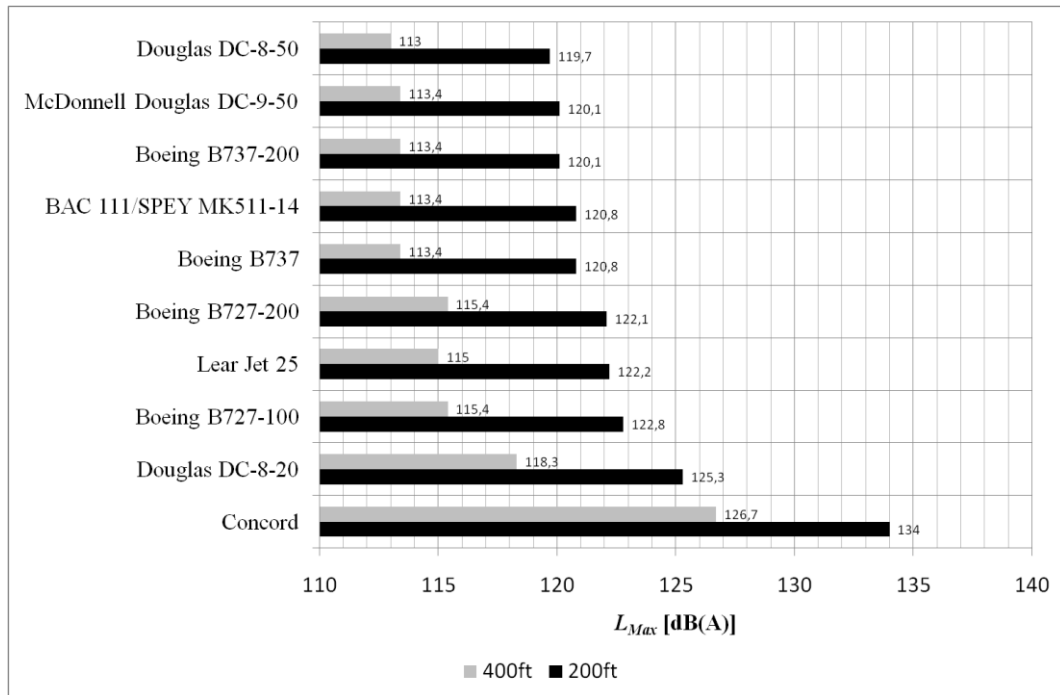


Figura 18: Valores de  $L_{Max}$ , a 5 m da via, para Comboios com 100 m de comprimento, de acordo com SRM I



**Figura 19: Valores de  $L_{Max}$  para os 10 Aviões mais ruidosos, de acordo com ECAC**

### 3.1.10. Ruído de Baixa Frequência

Com vista a guiar a sugestão de Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência, para Portugal, constante no capítulo 5.1.2.3, considera-se adequado explicitar resumidamente (capítulo 3.1.10.1) a regra desenvolvida pelo Departamento para o Ambiente a Comida e as Actividades Rurais da Grã-Bretanha (DEFRA UK) [13], e a lista de Fontes (capítulo 3.1.10.2) que, de acordo com a informação Espectral constante na base de dados Source dB [e1,e2], podem não cumprir essa regra para valores de ruído global em dB(A) relativamente reduzidos.

#### 3.1.10.1. Regra da Grã-Bretanha

Em suma, o critério de incomodidade devido a Ruído de Baixa Frequência estabelecido na referência [13], que não entra em conta com a Malha G de ponderação em frequência [5,71], é o seguinte:

- 1 Medir  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$  e  $L_{90}$  em Bandas de 1/3 de oitava entre 10Hz e 160 Hz, sem ponderação em frequência (Malha Z [65]);

- 2 Se os valores de  $L_{eq}$  ultrapassarem os valores constantes no quadro seguinte (Quadro 17) é provável a presença de uma Fonte de Ruído de Baixa Frequência que poderá causar incomodidade;

**Quadro 17: Curva de limitação do Ruído de Baixa Frequência (UK)**

Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40	60	63	80	100	125	160
dB, $L_{eq}$	92	87	83	74	64	56	49	43	42	40	38	36	34

- 3 Se o ruído ocorrer apenas durante o dia adiciona-se 5 dB a cada um dos valores do Quadro 17;
- 4 Se o ruído for estável adiciona-se 5 dB a cada um dos valores do Quadro 17;
- 5 O ruído é considerado estável se na Banda de frequência de 1/3 de oitava em que se contabilizou uma maior ultrapassagem relativamente aos valores do Quadro 17, se verificam simultaneamente os seguintes dois critérios:
- $L_{10} - L_{90} < 5\text{dB}$ ;
  - A taxa de variação dos níveis sonoros (ponderação em frequência *Fast*) é menor do que 10 dB/segundo [para a variação *Fast* (125 ms em 125ms), a taxa de variação crescente ou decrescente terá de ser menor do  $10 \times 0,125 = 1,25$  dB (de notar que podem ocorrer variações superiores a 1,25 dB de 125 ms em 125 ms, desde que não sejam sempre crescentes ou decrescentes durante 1 s)].

### 3.1.10.2. Potenciais Fontes de Ruído de Baixa Frequência

Analisando a base de dados Source dB [e1,e2], em termos Espectrais, verifica-se que as Fontes de ruído (mantêm-se os nomes originais da base de dados para facilidade de pesquisa e, em alguns casos, por dificuldade de tradução) com maior expressão nas componentes graves são as seguintes (Quadro 18), com as seguintes correcções espectrais, em dB, na intersecção da gama de frequências com a informação disponível (25 Hz a 10000Hz) com a gama do Quadro 17. Apresenta-se ainda no Quadro 18 o valor global mínimo, em dB(A), que para o tipo de Espectro constante na base de dados Source dB, faz ultrapassar a curva de referência do Quadro 17, assim como Espectros teóricos (ver Apêndice A2) para referência.

**Quadro 18: Valores mínimos que superam curva de limitação do Ruído de Baixa Frequência (Source dB)**

Tipo de Fonte	Correcção Espectral em dB									Valor de Banda Larga mínimo*
	Bandas de frequência [Hz]									
	25	31,5	40	60	63	80	100	125	160	
Wheeled loaders (< 50 kW)	37,2	31,9	27,1	-12,9	-16,9	-20,6	-13,7	-16,7	-19,4	22 dB(A)
Trucks - trailer cooling - electric	37,0	31,7	26,9	-3,5	-7,5	-11,2	-11,6	-14,6	-17,3	23 dB(A)
Lifting truck - 5 ton - electric	36,9	31,6	26,8	-22,4	-26,4	-30,1	-25,5	-28,5	-31,2	23 dB(A)
Ships 5.000 - 10.000 ton	36,9	31,6	26,8	-10,9	-14,9	-18,6	-8,3	-11,3	-14,0	23 dB(A)
Ships 10.000 - 20.000 ton	37,0	31,7	26,9	-9,0	-13,0	-16,7	-12,7	-15,7	-18,4	23 dB(A)
Ruído Castanho (A)	37,8	31,5	25,7	20,3	15,3	10,6	6,2	-9,8	-11,5	23 dB(A)
Reciprocating Compressor	30,5	25,2	20,4	19,0	15,0	11,3	9,9	6,9	4,2	24 dB(A)
Compressor (type: Roots; shaft power; speed: 1000 rpm)	34,4	29,1	24,3	18,9	14,9	11,2	6,8	3,8	1,1	25 dB(A)
Ruído Rosa (A)	30,4	25,1	20,3	15,9	11,9	8,2	4,8	1,8	-0,9	28 dB(A)
Chain saw	22,8	17,5	12,7	14,3	10,3	6,6	-4,8	-7,8	-10,5	29 dB(A)
Turbo Compressor	22,5	17,2	12,4	12,0	8,0	4,3	4,9	1,9	-0,8	31 dB(A)
Chain saw com carga	19,7	14,4	9,6	10,2	6,2	2,5	-8,9	-11,9	-14,6	33 dB(A)
Flare	19,6	14,3	9,5	10,1	6,1	2,4	4,0	1,0	-1,7	33 dB(A)
Windmill - Vesitas V90-3,0MW	11,7	6,4	1,6	6,4	2,4	-1,3	2,8	-0,2	-2,9	36 dB(A)
Ruído Castanho	5,4	4,4	3,4	2,4	1,4	0,4	-0,6	-1,6	-2,6	37 dB(A)
Helicopter - Dauphin 365N3- rear take-off	3,1	-2,2	-7	-0,5	-4,5	-8,2	-0,5	-3,5	-6,2	39 dB(A)
Trucks- < 20km/h	4,9	-0,4	-5,2	0,7	-3,3	-7	-1,7	-4,7	-7,4	40 dB(A)
Ruído Branco (A)	11,8	7,5	3,7	0,3	-2,7	-5,4	-7,8	-9,8	-11,5	43 dB(A)
Ruído Rosa	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	46 dB(A)
Tráfego Rodoviário (NP EN 1793-3)	-	-	-	-	-	-	-20	-20	-18	53 dB(A)
Ruído Branco	-32,5	-31,5	-30,5	-29,5	-28,5	-27,5	-26,5	-25,5	-24,5	59 dB(A)

\*: Com este valor pelo menos em uma das Bandas de frequência é ultrapassada a Curva de Referência do Quadro 17.

### 3.2. Ruído Ambiente Interior

No caso do Ruído Ambiente Interior, os métodos de previsão analisados são os métodos que possuem a força de Norma Europeia (série EN 12354, partes 1 a 3 e 6, de acesso não livre):

1. EN 12354-1: 2000 [72]: Isolamento a sons aéreos entre compartimentos;
2. EN 12354-2: 2000 [73]: Isolamento a sons de percussão entre compartimentos;
3. EN 12354-3: 2000 [74]: Isolamento a sons aéreos entre o exterior e o interior;
4. EN 12354-6: 2003 [14]: Tempo de Reverberação.

De referir que, dada a publicação tardia, relativamente aos tempos do presente trabalho, da

EN 12354-5: 2009 [75], associada à previsão do ruído de equipamentos colectivos em edifícios, não foi possível contemplá-la no presente trabalho. Não foi também considerada a EN 12354-4: 2000 [76], associada à previsão da transmissão de ruído do interior para o exterior.

Relativamente aos métodos de medição de Ruído Ambiente Interior, foram seleccionados todos os métodos de medição *in situ* da série de normas ISO 140 (acesso não livre), mais o método de medição do ruído de equipamentos de serviço (acesso não livre), mais o método de medição de Tempo de Reverberação em edifícios correntes (acesso não livre) (não é tratado especificamente o método de medição do Tempo de Reverberação em salas de espectáculo, ISO 3382-1: 2009 [77]):

1. NP EN ISO 140-4 [78]: Medição do isolamento a sons aéreos entre compartimentos;
2. NP EN ISO 140-5 [79]: Medição do isolamento a sons aéreos entre o exterior e o interior;
3. NP EN ISO 140-7 [80,81]: Medição do isolamento a sons de percussão entre compartimentos;
4. NP EN ISO 16032 [82]: Medição do nível de pressão sonora de equipamentos de serviço em edifícios;
5. NP EN ISO 3382-2 [83]: Medição do Tempo de Reverberação em edifícios correntes.

Em termos de limitação e avaliação de Ruído Ambiente Interior, foram analisados especificamente os seguintes documentos:

1. Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho, que aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios em vigor, aplicável a Ruído Ambiente Interior [10]. Documento legal anterior associado: Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio [17];
2. Critérios de Amostragem LNEC [23].

Foram ainda analisadas as especificações de limitação de Ruído Ambiente Interior de Espanha [e7], França [84] e Inglaterra [85], apresentando-se particularmente (capítulos 3.2.3.2, 4.2.9 e 4.2.10) as respectivas semelhanças e diferenças.

Explicitam-se nos capítulos seguintes as análises específicas e resumos julgados relevantes em termos de Ruído Ambiente Interior.

### 3.2.1. EN 12354-6

Apresenta-se neste desenvolvimento de análise o resumo (capítulo 3.2.1.1) da norma [14], relativa à previsão do Tempo de Reverberação, norma esta que contém método específico para cálculo do Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular, sendo para aí direccionado o resumo seguinte, na medida em que é desenvolvida, no âmbito do trabalho, aplicação informática de automatização deste método (capítulo 6.1.6.2), dada a sua complexidade e pertinência, conforme se evidencia na comparação (capítulo 3.2.1.2) dos valores obtidos através deste método e através do método regular [equação (11) seguinte].

#### 3.2.1.1. Resumo

Em suma, a norma [14] estabelece forma de cálculo prospectivo do Tempo de Reverberação  $T_{rev}$ , distinguindo dois casos importantes:

1. Espaços, objectos e Absorção Sonora regular;
2. Absorção Sonora irregular.

#### Espaços, objectos e Absorção Sonora regular

De acordo com a equação (5) da norma [14] o Tempo de Reverberação é dado por:

$$T_{rev} = \frac{55,3}{c} \frac{V(1-\Psi)}{A_{eq}} \text{ [s]} \quad (11)$$

Onde  $c$  é a velocidade do som no ar – assume-se normalmente  $c = 345,6$  m/s (por exemplo na série de normas [78-81]), o que faz com que  $55,3/c \approx 0,16$ , de onde resulta a conhecida fórmula de Sabine [15,16].

Na posse de informação sobre a temperatura e a humidade relativa do ar pode recorrer-se às seguintes equações, constantes na referência [86]:

$$c_{seco} = 331 + 0,6T^{\circ}C \text{ [m/s]} \quad (12)$$

$$c_{húmido} = [1+0,16H] \times c_{seco} \text{ [m/s]}$$

Na equação (11)  $V$  é o volume em vazio do compartimento fechado em causa,  $\Psi$  é a fracção volumétrica de objectos, e  $A_{eq}$  é a Área de Absorção Sonora Equivalente total.

A fracção volumétrica de objectos,  $\Psi$ , é dada pela equação seguinte:

$$\Psi = \frac{\sum_{j=1}^o V_{obj,j} + \sum_{k=1}^p V_{obj,k}}{V}$$

onde  $V_{obj,j}$  é o volume de cada objecto  $j$  e  $V_{obj,k}$  é o volume de cada conjunto de objectos  $k$ .

A Área de Absorção Sonora Equivalente Total ( $A_{eq}$ ), do compartimento fechado em causa, é dada por:

$$A_{eq} = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{air} \text{ [m}^2\text{]}$$

Onde  $n$  é o número de superfícies  $i$ ,  $o$  é o número de objectos  $j$ ,  $p$  é o número de conjuntos de objectos  $k$ ,  $\alpha_{s,i}$  (valor em função da frequência) é o coeficiente de Absorção Sonora da superfície  $i$  (apresentam-se no Quadro 19 os valores típicos indicados na norma [14]; para uma informação mais completa poderá ser consultada a referência [87]),  $S_i$  é a área da superfície  $i$ ,  $A_{obj,j}$  (valor em função da frequência) é a Área de Absorção Sonora Equivalente do objecto  $j$ ,  $\alpha_{s,k}$  (valor em função da frequência) é o coeficiente de Absorção Sonora do conjunto de objectos  $k$  (apresentam-se no Quadro 21 os valores típicos indicados na norma [14]),  $S_k$  é a área da superfície ocupada pelo conjunto de objectos  $k$ , e  $A_{air}$  é a Área de Absorção Sonora Equivalente do ar.

**Quadro 19: Coeficientes típicos de Absorção Sonora de materiais (EN 12354-6)**

Materiais	Coeficiente de absorção sonora $\alpha$ em Bandas de oitava, frequência central em Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
betão, tijolo rebocado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
alvenaria, sem reboco	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
revestimentos rígidos de pavimentos (ex. PVC) em pisos pesados	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
revestimentos pouco rígidos de pavimentos em pisos pesados; $\leq 5$ mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
revestimentos pouco rígidos de pavimentos em pisos pesados; $\geq 10$ mm	0,04	0,08	0,15	0,30	0,45	0,55
pavimento de madeira	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
janelas, fachada de vidro	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
portas (madeira)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
cortinas (0 mm - 200 mm) em frente a superfície rija*	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
cortina $< 0,2$ kg/m <sup>2</sup> ; 0 mm - 200 mm em frente a superfície rija; mínimo típico*	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
cortina de tecido $< 0,4$ kg/m <sup>2</sup> ; dobras $> 1:3$ , 0-200 mm em frente a superfície rija; máximo típico	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00
grandes aberturas (dimensão mais pequena $> 1$ m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
grelha de ar, 50% área exposta	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Nota: Estes dados são baseados em publicações usadas na Áustria, Dinamarca e Holanda.

\* Em frente a uma janela os valores combinados podem aumentar para valores próximos duma janela isolada.

**Quadro 20: Valores típicos de Área de Absorção Sonora Equivalente para objectos comuns (EN 12354-6)**

Objecto	Área de absorção equivalente $A_{obj}$ em Bandas de oitava, frequência central em Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
cadeira, madeira	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
cadeira, estofada	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35
1 pessoa num grupo, sentada ou em pé, 1 por 6m <sup>2</sup> de área, mínimo típico	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
1 pessoa num grupo, sentada, 1 por 6m <sup>2</sup> de área, máximo típico	0,12	0,45	0,80	0,90	0,95	1,00
1 pessoa num grupo, de pé, 1 por 6m <sup>2</sup> de área, máximo típico	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40

Nota: Estes dados são baseados em publicações usadas na Áustria, Dinamarca e Holanda.

**Quadro 21: Valores típicos de coeficientes de Absorção Sonora de conjuntos de objectos (EN 12354-6)**

Objecto	Área de absorção equivalente $A_{obj}$ em Bandas de oitava, frequência central em Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
cadeiras em fila de 0,9m - 1,2m; madeira/plástico	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
cadeiras em fila de 0,9m - 1,2m; estofadas; típico mínimo	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50
cadeiras em fila de 0,9m - 1,2m; estofadas; típico máximo	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00
peçoas sentadas em fila de 0,9m - 1,2m (audiência); típico mínimo	0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
peçoas sentadas em fila de 0,9m - 1,2m (audiência); típico máximo	0,60	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90
crianças numa sala de aula mobilada, 1 por m <sup>2</sup> de área	0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,40

Nota: Estes dados são baseados em publicações usadas na Áustria, Dinamarca e Holanda.

A Área de Absorção Sonora Equivalente do ar é dada por:

$$A_{air} = 4m_p V(1 - \Psi) \text{ [m}^2\text{]}$$

Onde  $V$  é o volume em vazio do compartimento fechado em causa,  $m_p$  (valor em função da frequência) o Coeficiente de Atenuação da Potência, com valores tabelados no Quadro 22 em função da humidade e da temperatura, e  $\Psi$  é a fracção volumétrica de objectos.

**Quadro 22: Coeficiente de Atenuação da Potência  $m$  no ar (EN 12354-6)**

	$m_p$ [ $10^{-3}$ Neper/m, por Banda de oitava]						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
10°C, 30%-50% Humidade	0,1	0,2	0,5	1,1	2,7	9,4	29,0
10°C, 50%-70% Humidade	0,1	0,2	0,5	0,8	1,8	5,9	21,1
10°C, 70%-90% Humidade	0,1	0,2	0,5	0,7	1,4	4,4	15,8
20°C, 30%-50% Humidade	0,1	0,3	0,6	1,0	1,9	5,8	20,3
20°C, 50%-70% Humidade	0,1	0,3	0,6	1,0	1,7	4,1	13,5
20°C, 70%-90% Humidade	0,1	0,3	0,6	1,1	1,7	3,5	10,6

Nota: Estes valores são deduzidos das tabelas dos coeficientes de atenuação atmosférica em decibel por km constantes na norma [88], em Banda de 1/3 de oitava, dividindo esses valores por 4,343 [ $10 \log(e)$ ]. Os valores para as Bandas de oitava são os valores da Banda central até 1kHz e os valores da menor Banda de 1/3 de oitava acima de 1kHz. Os valores apresentados aqui correspondem á média linear para a gama de humidades relativas apresentadas.

Para objectos duros com forma irregular, tipo máquinas, armários e móveis de escritório, a Área de Absorção Sonora Equivalente, se não disponível, pode ser estimada através do seu volume da seguinte forma:

$$A_{obj} = V_{obj}^{\frac{2}{3}} \text{ [m}^2\text{]}$$

Onde  $V_{obj}$  é o volume do objecto duro em causa.

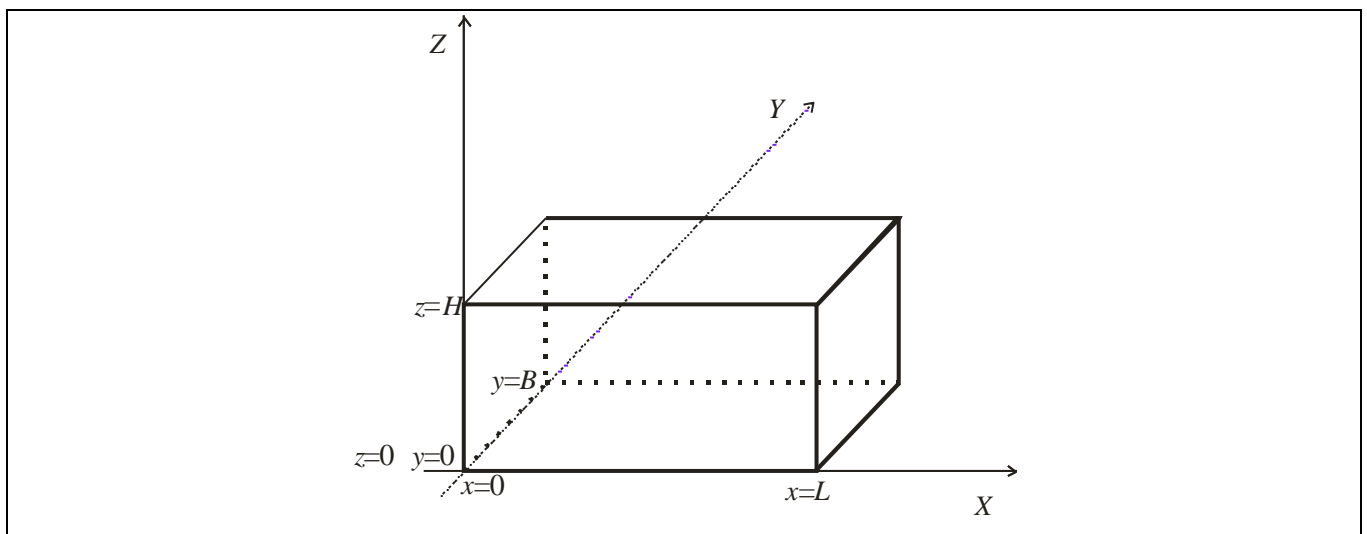
De notar que a equação (11) é válida apenas para os seguintes casos:

- Volumes regulares: nenhuma dimensão poderá ser mais de 5 vezes maior do que outra;
- Distribuição regular da Absorção Sonora: os coeficientes de absorção sonora não podem variar mais de um factor de 3 entre pares de superfícies opostas, a menos que existem objectos dispersores;
- Baixa fracção volumétrica de objectos:  $\Psi < 0,2$ .

### Absorção Sonora irregular

Uma vez que são muito comuns os casos de Absorção Sonora irregular, dado que a maioria das vezes aplicam-se materiais absorventes apenas no tecto, a norma [14] estabelece um método, no ponto D.2 do seu Anexo D, para estimativa do Tempo de Reverberação nestes casos.

Assume-se a seguinte (ver Figura 20) forma regular com volume  $V = L \times B \times H \text{ m}^3$ .



**Figura 20: Dimensões do compartimento rectangular regular segundo a EN 12354-6**

Para as altas frequências o campo sonoro é dividido em 1 parte, associada ao campo difuso, e em mais 3 partes, incidindo nas superfícies perpendiculares aos eixos dos  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Para cada um desses 4 campos é determinada a Absorção Sonora Equivalente Efectiva e o respectivo Tempo de Reverberação.

A importância de cada um dos campos sonoros é determinada pelo número de Modos Próprios associados, deduzidos através das dimensões do compartimento. Para as baixas frequências assume-se uma redução da Absorção Sonora Equivalente no campo sonoro total devido à perda de difusão nessas frequências.

A transição entre as altas e as baixas frequências é determinada comparando a frequência central das Bandas de oitava com a Frequência de Transição  $f_t$  dada por:

$$f_t = \frac{8,7 \cdot c}{V^{1/3}} \text{ [Hz]}$$

O Número Modos Próprios, para cada Campo Incidente, é dado pelas seguintes equações:

$$N_x = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(B+H)}{2c} + \frac{\pi f}{c^2} BH \right] \frac{c^3}{4\pi f^2 V}$$

$$N_y = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(L+H)}{2c} + \frac{\pi f}{c^2} LH \right] \frac{c^3}{4\pi f^2 V}$$

$$N_z = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(L+B)}{2c} + \frac{\pi f}{c^2} LB \right] \frac{c^3}{4\pi f^2 V}$$

A Área de Absorção Sonora Equivalente para os campos sonoros incidentes  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$ , e a Área de Absorção Sonora Equivalente para o campo difuso  $A_d$ , são dadas por:

$$A_x = \frac{c^2}{2f^2 L^2} (A_{x=0} + A_{x=L}) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + [A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + \pi mV$$

$$A_y = \frac{c^2}{2f^2 B^2} (A_{y=0} + A_{y=B}) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{z=0} + A_{z=H}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + \pi mV$$

$$A_z = \frac{c^2}{2f^2 H^2} (A_{z=0} + A_{z=H}) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_0} \right)^{1/3} + \pi mV$$

$$A_d = (A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}) + 4mV$$

Onde, por exemplo,  $A_{x=0}$  e  $A_{x=L}$ , correspondem, respectivamente, à Área de Absorção Sonora da superfície  $x = 0$  e da superfície  $x = L$  (os índices  $y$  e  $z$  indicam as mesmas quantidades associadas, respectivamente, às superfícies perpendiculares ao eixo dos  $y$  e dos  $z$ ).

A frequência de referência é  $f_0 = 1000$  Hz.

Os diferentes Campos Sonoros possuem ainda a contribuição dos efeitos de dispersão das diferentes superfícies e os efeitos de dispersão e absorção dos objectos. Isso é expresso na Área de Absorção Sonora de dispersão,  $A'_x$ ,  $A'_y$ ,  $A'_z$  e  $A'_d$ :

$$\begin{aligned} A'_x &= [LH(\delta_{y=0} + \delta_{y=B}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H})] + A_{obj,y} + A_{obj,z} + A_{obj,central} \\ A'_y &= [BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=L}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H})] + A_{obj,x} + A_{obj,z} + A_{obj,central} \\ A'_z &= [BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=L}) + LH(\delta_{y=0} + \delta_{y=B})] + A_{obj,x} + A_{obj,y} + A_{obj,central} \\ A'_d &= \sum_{Tudo} A_{obj} + N_x A'_x + N_y A'_y + N_z A'_z \end{aligned}$$

Onde, por exemplo,  $\delta_{x=0}$  e  $\delta_{x=L}$  corresponde aos Coeficientes de Dispersão Sonora da superfície  $x = 0$  e da superfície  $x = L$  (os índices  $y$  e  $z$  indicam as mesmas quantidades associadas, respectivamente, às superfícies perpendiculares ao eixo dos  $y$  e dos  $z$ ).

Relativamente aos Coeficientes de Dispersão Sonora  $\delta$ , na ausência de informação específica a norma [14] recomenda:

- Para superfícies planas rígidas:  $\delta \leq 0,05$ .
- Superfícies com recessos, nas médias e altas frequências, tipicamente:  $0,4 \leq \delta \leq 0,6$ .

$A_{obj}$  é a Área de Absorção Sonora Equivalente dos objectos, em  $m^2$ , e  $A_{obj,x}$ ,  $A_{obj,y}$ ,  $A_{obj,z}$  e  $A_{obj,central}$ , são, respectivamente, as Área de Absorção Sonora Equivalente, em  $m^2$ , dos objectos associados às superfícies perpendiculares aos eixos dos  $x$  ( $x = 0$  e  $x = L$ ), dos  $y$  ( $y = 0$  e  $y = B$ ), e dos  $z$  ( $z = 0$  e  $z = H$ ) e dos objectos centrais.

A Área de Absorção Sonora Equivalente efectiva  $A^*$ , para cada campo sonoro, é determinada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} A_d^* &= \frac{A_d + A'_d - \frac{N_x A_x'^2}{A_x + A'_x} - \frac{N_y A_y'^2}{A_y + A'_y} - \frac{N_z A_z'^2}{A_z + A'_z}}{1 + \frac{N_x A_x'}{A_x + A'_x} + \frac{N_y A_y'}{A_y + A'_y} + \frac{N_z A_z'}{A_z + A'_z}} \\ A_x^* &= \frac{A_x + A'_x}{1 + \frac{A_x'}{A_d^*}} \\ A_y^* &= \frac{A_y + A'_y}{1 + \frac{A_y'}{A_d^*}} \\ A_z^* &= \frac{A_z + A'_z}{1 + \frac{A_z'}{A_d^*}} \end{aligned}$$

A Área de Absorção Sonora Equivalente efectiva para o campo total  $A^*_{xyzd}$ , para as baixas frequências

( $f < f_i$ ), é dada por:

$$A_{xyzd}^* = (\overline{A_{x=0}} + \overline{A_{x=L}} + \overline{A_{y=0}} + \overline{A_{y=B}} + \overline{A_{z=0}} + \overline{A_{z=H}}) + \sum A_{obj} + 4mV$$

Onde:

$$\bar{A} = A_{eq} e^{-\frac{A_{eq}}{S}}$$

Sendo  $A_{eq}$  e  $S$ , respectivamente, a Área de Absorção Sonora Equivalente e a área superfície em causa.

O Tempo de Reverberação para cada campo sonoro, para as altas frequências ( $f > f_i$ ), vem:

$$T_x = \frac{55,3}{c} \frac{V(1-\Psi)}{A_x^*}$$

$$T_y = \frac{55,3}{c} \frac{V(1-\Psi)}{A_y^*}$$

$$T_z = \frac{55,3}{c_0} \frac{V(1-\Psi)}{A_z^*}$$

$$T_d = \frac{55,3}{c} \frac{V(1-\Psi)}{A_d^*}$$

Se a diferença entre os 4 Tempos de Reverberação anteriores for pequena, o  $T_d$  pode ser considerado como a estimativa mais adequada do Tempo de Reverberação para as Altas Frequências ( $f > f_i$ ).

Se a diferença entre os 4 Tempos de Reverberação anteriores não for pequena, o Tempo de Reverberação é provavelmente maior do que  $T_d$  e a estimativa mais adequada do Tempo de Reverberação ( $T_{20}$ ), para as Altas Frequências ( $f > f_i$ ), passa a ser (de notar que se o valor for menor do que  $T_d$  é o valor de  $T_d$  que deve ser considerado):

$$T_{Estimativa} = \frac{(T_x + T_y + T_z + T_d)}{4} \geq T_d \quad (13)$$

Para as Baixas Frequências ( $f < f_i$ ) a estimativa mais adequada do Tempo de Reverberação ( $T_{20}$ ) é:

$$T_{EstimativaBF} = \frac{55,3}{c} \frac{V(1-\Psi)}{A_{xyzd}^*} \quad (14)$$

### 3.2.1.2. Comparação das previsões do Tempo de Reverberação

Apresentam-se no Quadro 23 os resultados obtidos para alguns exemplos de espaços regulares, vazios (sem objectos;  $\Psi = 0$ ), assumindo em todos os casos não existir dispersão ( $\delta = 0$ ) e uma temperatura de 20°C e uma Humidade relativa de 60%. Para o cálculo do  $T_{rev,Regular}$  considera-se a equação (11), e para o cálculo de  $T_{rev,Irregular}$  as equações (13) e (14). Apresenta-se conjuntamente o valor limite legal mais comum ( $T_{rev} \leq 0,15V^{1/3}$ ; [18]) para cada caso.

**Quadro 23: Tempo de Reverberação previsto para Absorção Sonora regular e irregular**

<i>L</i> [m]	<i>B</i> [m]	<i>H</i> [m]	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$T_{rev,Regular}$ [s]	$T_{rev,Irregular}$ [s]				Limite [s]
						0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	Média	
3	3	3	0,01	0,01	8	6,6	6,2	5,5	6,1	0,5
3	3	3	0,01	0,3	1,4	1,6	1,6	1,9	1,7	0,5
3	3	3	0,01	0,5	0,9	1,2	1,2	1,7	1,4	0,5
3	3	3	0,01	0,7	0,6	1,1	1,1	1,5	1,2	0,5
3	3	3	0,01	0,9	0,5	1,0	1,0	1,5	1,2	0,5
5	5	3	0,01	0,01	10,9	8,7	8,5	6,9	8,0	0,6
5	5	3	0,01	0,3	1,4	1,7	3,2	2,5	2,5	0,6
5	5	3	0,01	0,5	0,9	1,3	2,8	2,3	2,1	0,6
5	5	3	0,01	0,7	0,7	1,1	2,6	2,1	2,0	0,6
5	5	3	0,01	0,9	0,5	1,1	2,5	2,1	1,9	0,6
4	9	3	0,01	0,01	11,5	9,1	9,0	7,1	8,4	0,7
4	9	3	0,01	0,3	1,4	1,7	3,4	2,7	2,6	0,7
4	9	3	0,01	0,5	0,9	1,3	3,0	2,4	2,2	0,7
4	9	3	0,01	0,7	0,7	1,1	2,8	2,3	2,1	0,7
4	9	3	0,01	0,9	0,5	1,1	2,6	2,2	2,0	0,7
6	10	3	0,01	0,01	13,3	10,3	10,2	7,8	9,5	0,8
6	10	3	0,01	0,3	1,5	1,7	4,0	3,1	3,0	0,8
6	10	3	0,01	0,5	0,9	1,3	3,6	2,8	2,6	0,8
6	10	3	0,01	0,7	0,7	1,2	3,3	2,7	2,4	0,8
6	10	3	0,01	0,9	0,5	1,1	3,1	2,6	2,3	0,8

$\alpha_1$ : Coeficiente de Absorção Sonora das paredes e chão;  $\alpha_2$ : Coeficiente de Absorção Sonora do tecto.

A análise do Quadro 23 permite verificar que aumentando a Absorção Sonora de uma só superfície, no exemplo o tecto, a utilização da equação (11) ( $T_{rev,Regular}$ ), conduz a Tempos de Reverberação significativamente mais reduzidos do que os calculados, de forma mais correcta (ou pelo menos mais conservativa) para estes casos, pelas equações (13) e (14) ( $T_{rev,Irregular}$ ), o que poderá fazer com que se conclua erradamente, com o uso da equação (11), ou similar (fórmula de Sabine), ser suficiente um determinado valor de Absorção Sonora no tecto para cumprir o limite legal, e na realidade será necessário um valor superior de Absorção Sonora no tecto e/ou aumentar a Absorção Sonora em outras superfícies (nos exemplos do  $T_{rev,Irregular}$  do Quadro 23 em nenhum caso é suficiente aumentar para 0,9 o Coeficiente de Absorção Sonora de todo o tecto para cumprir o limite legal).

Salienta-se que, de acordo com algumas referências, por exemplo [89-92], as previsões através do método do Anexo D da norma [14], podem a ser significativamente conservativas, e devem ser tidos em conta outros factores, para além do Tempo de Reverberação, no condicionamento acústico de um espaço fechado.

### 3.2.2. Ruído Aéreo da Máquina de Percussão

Este desenvolvimento de análise pretende evidenciar que não é claro o conceito de Ruído Aéreo da Máquina de Percussão.

É estabelecido o seguinte na secção 5.6 da norma [80]: “*É necessário certificar que o ruído aéreo emitido pela máquina de percussão e transmitido para o compartimento receptor não influencia o nível de pressão sonora estabelecido nesse compartimento devido à acção de percussão*”.

O capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26], indica o seguinte método para verificação da influência do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão:

1. Medição da diferença de Níveis Sonoros  $D$  entre os compartimentos com Fonte Sonora Dodecaédrica, utilizando Ruído Rosa;
2. Medição do Ruído Aéreo  $L_s$ , no compartimento Emissor devido à Máquina de Percussão;
3. Medição do Ruído Aéreo  $L_r$ , no compartimento Receptor devido à Máquina de Percussão.

Se  $L_s - D$ , para cada Banda de frequência, estiver pelo menos 10 dB abaixo de  $L_r$ , então é negligenciável a influência do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão.

Caso haja influência não é indicada, nas normas [25,26,80], forma de correcção do Isolamento a Sons de Percussão, para que não contemple o Ruído Aéreo da Máquina de Percussão. Uma das formas de efectuar esta correcção é entender este Ruído Aéreo como Ruído de Fundo e efectuar a correcção em conformidade com o estabelecido na secção 5.6 da norma [80]. Contudo, faz-se notar que o Ruído Aéreo no compartimento Emissor  $L_s$ , fica a dever-se ao Ruído Aéreo da Máquina de Percussão propriamente dita (radiado directamente pela máquina), que se simboliza por  $L_a$ , e ao Ruído Estrutural radiado pelos elementos estruturais do edifício, no compartimento Emissor, devido à Máquina de Percussão, que se simboliza por  $L_e$ , ou seja:

$$L_s = L_a \oplus L_e$$

Não é assim claro se o Ruído Aéreo que a norma [80] indica que não deve influenciar o Isolamento a Sons de Percussão, é efectivamente  $L_s - D$  como indicado nas normas [25,26], ou se na realidade é só  $L_a - D$ .

Julga-se que o Ruído Estrutural produzido num compartimento Emissor, por exemplo, na movimentação de uma pessoa com sapatos de salto alto, e que seja transmitido via aérea para o

compartimento Receptor, faz parte do Isolamento a Sons de Percussão, pelo que de certa forma o Ruído Estrutural produzido pela Máquina de Percussão num compartimento Emissor, e que se transmite via aérea para o compartimento Receptor, também deverá fazer parte do Isolamento a Sons de Percussão, ainda que, por exemplo, na referência [93] este Ruído Estrutural seja considerado parasita e denominado por “eco dos impactos”. De referir também que existem algumas referências, por exemplo [94], que comparam a representatividade do impacto da Máquina de Percussão normalizada no Anexo A da referência [80], com o impacto das actividades normais de utilização de um edifício (por exemplo, brincadeiras com bola, crianças a correr, pessoas a saltar, pessoas a andar, etc) e concluem inclusive que a Máquina de Percussão normalizada [80], não é adequada para caracterizar o impacto de actividades normais dos edifícios em que a Fonte percutora tem maior massa ou área, o que de alguma forma indicia que o Ruído Aéreo da Máquina de Percussão a desprezar, também na perspectiva dessas referências, não é “todo” o Ruído Aéreo que inclui também o Ruído Estrutural, induzido pela percussão, no compartimento Emissor.

De exemplificar um caso possível, em que, num edifício industrial (sem exigências relativamente a Isolamento a Sons Aéreos entre compartimentos, de acordo com o Artigo 6.º do Regulamento [18]),  $L_s = 95$  dB,  $D = 33$  dB e  $L_r = 64$  dB (por simplicidade consideram-se os níveis sonoros em causa representativos dos respectivos índices de isolamento), sendo o Receptor um escritório do edifício. Neste caso resulta uma grande influência do Ruído Aéreo  $L_s$ , pois  $95 - 33 = 62$  dB, ou seja um valor muito próximo de  $L_r = 64$  dB. Ou seja, neste exemplo simplificado, não é possível dizer se o Isolamento a Sons de Percussão cumpre ou não o limite legal. Se entendermos este Ruído Aéreo como Ruído de Fundo, podemos corrigir  $L_r$  da seguinte forma:

$$L_{r, \text{corrigido}} = 64 \ominus 62 \approx 60 \text{ dB}$$

O que conduz a um resultado que cumpre o limite legal.

Caso o conceito do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão que é necessário excluir, seja apenas o Ruído Aéreo da própria Máquina  $L_a$ , e caso se tivesse usado uma Máquina de Percussão no exemplo anterior com um valor de  $L_a$  desprezável relativamente a  $L_e$ , então o valor verdadeiro do Isolamento a Sons de Percussão manter-se-ia  $L_r = 64$  dB, não cumprindo assim o limite legal.

No capítulo 6.2.6 desenvolve-se uma metodologia de caracterização de  $L_a$ , assente assim no conceito de que o Ruído Aéreo da Máquina de Percussão que é necessário excluir é apenas  $L_a$ , pelo que a possibilidade da sua utilização carece da confirmação da validade deste conceito.

### 3.2.3. DL 129/2002 e DL 96/2008

A Legislação [18], que aprovou o novo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, manteve a maioria da tipologia de requisitos estabelecidos no anterior Regulamento [17], complementando algumas situações, e introduzindo novos tipos de requisitos, nomeadamente no que concerne a unidades hoteleiras, auditórios e salas.

No que concerne aos requisitos e valores que se mantêm, em termos de Isolamentos Sonoros e de Níveis de Avaliação, os parâmetros associados a essas limitações foram alterados, passando a nova legislação a utilizar parâmetros Padronizados, o que significa na realidade uma alteração dos requisitos, pois é diferente limitar em termos de parâmetros Padronizados e em termos de parâmetros Normalizados [95], conforme se procura evidenciar nos subcapítulos seguintes. Assim, numa eventual revisão futura da legislação [18], poderá ser importante aferir a pertinência da recuperação do grau de exigências da legislação anterior [17], conforme se sugere no capítulo 5.2.2.2.

Evidencia-se também, que os Isolamentos Padronizados estão, normalmente, mais próximos do Isolamento Bruto (efectivo), do que os Isolamentos Normalizados, o que, na perspectiva do percipiente, abona a favor da legislação actual [18].

#### 3.2.3.1. Relações entre Isolamento Padronizado e Normalizado

Recorrendo às relações estabelecidas na série de normas [72-74], facilmente se deduzem as seguintes relações entre os parâmetros de Isolamento Sonoro Normalizados ( $n$ ) e os parâmetros de Isolamento Sonoro Padronizados ( $nT$ ), onde  $V$  corresponde ao volume do compartimento Receptor, em  $m^3$ :

$$D_{2m,nT} = D_{2m,n} + 10\log(0,032 \cdot V) \text{ [dB]}$$

$$D_{nT} = D_n + 10\log(0,032 \cdot V) \text{ [dB]}$$

$$L'_{nT} = L'_n - 10\log(0,032 \cdot V) \text{ [dB]}$$

Apresenta-se no gráfico da Figura 21 a relação entre  $-10\log(0,032V)$  e  $V$ .

Sendo mais fácil, para a maioria dos técnicos e não técnicos, pensar nos compartimentos em termos de área em planta, em vez de volume, afigura-se adequado redesenhar o gráfico anterior em termos de área em planta do compartimento Receptor, considerando um pé-direito típico de 3 metros (ver Figura 22).

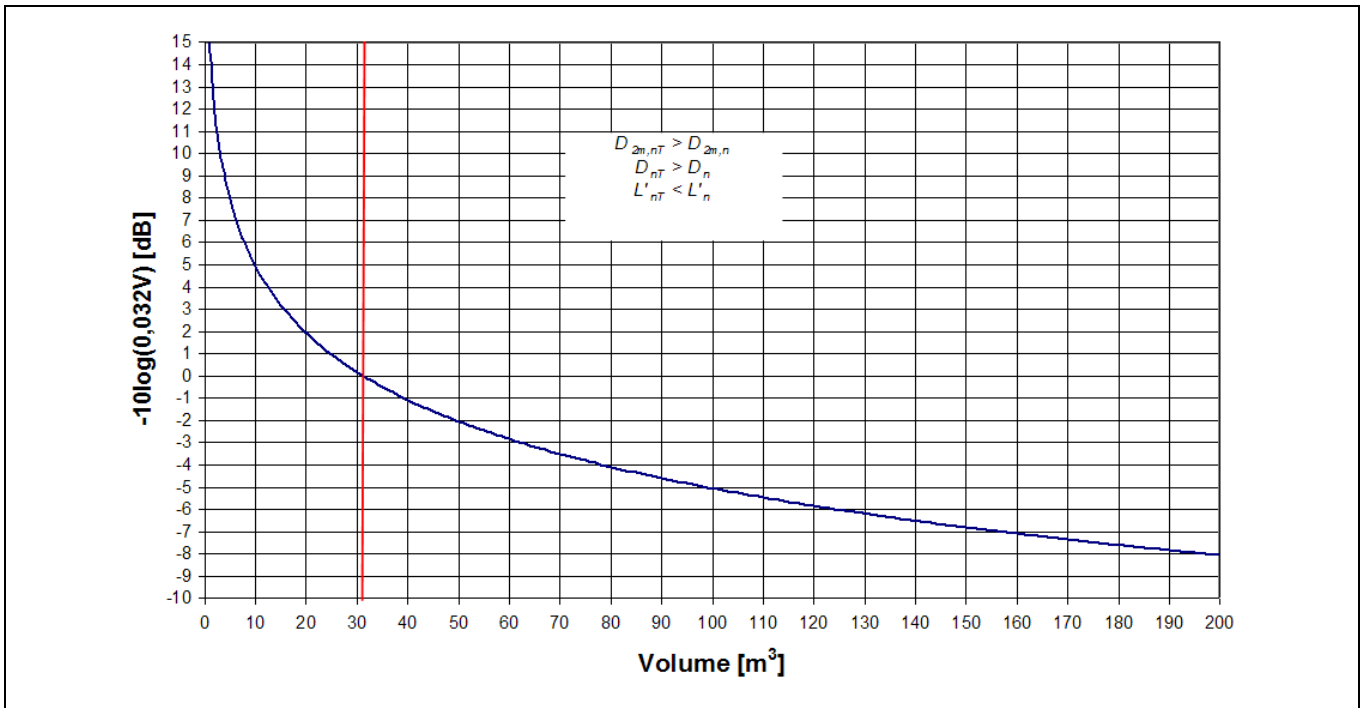


Figura 21: Relação entre os Isolamentos Normalizados e Padronizados, em função do volume

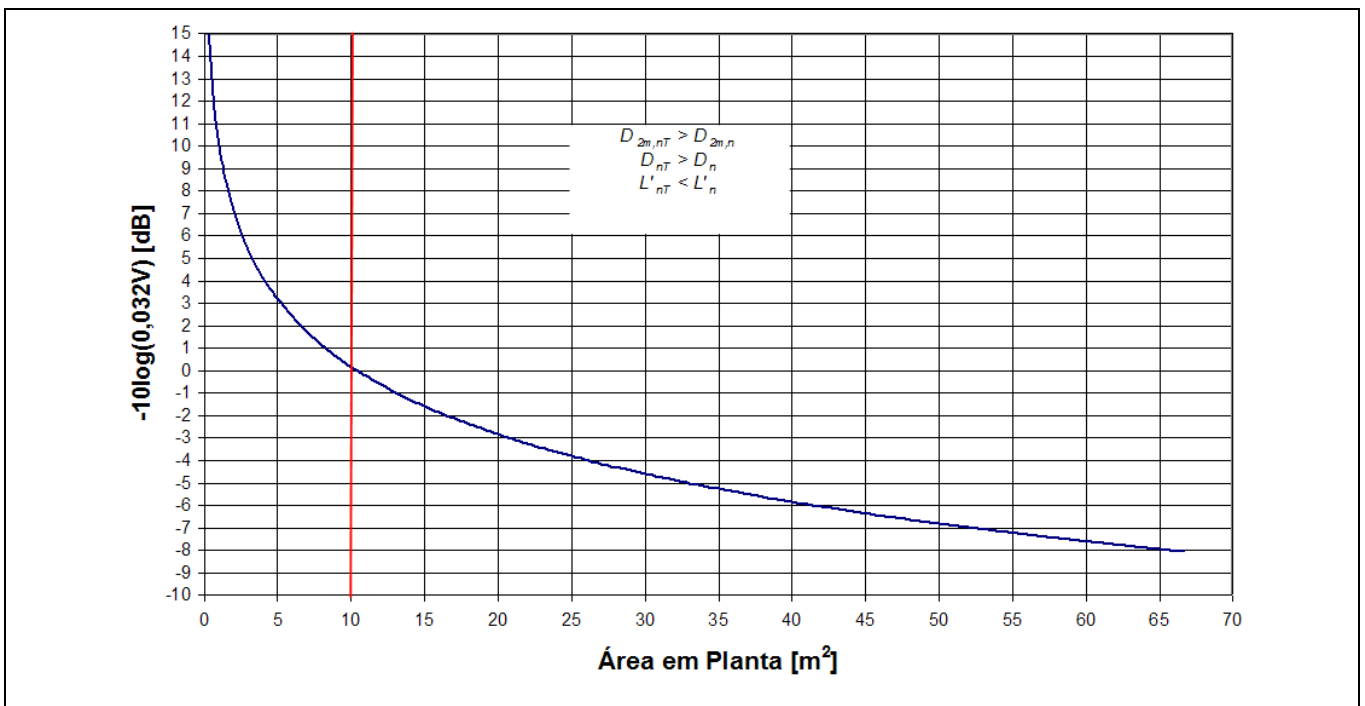


Figura 22: Relação entre os Isolamentos Normalizados e Padronizados, em função da área em planta

Recorrendo à definição constante na alínea d) do Artigo 2.º (Definições), da legislação [18], onde  $T_{rev}$  é o Tempo de Reverberação do compartimento Receptor e  $T_0 = 0,5$  s na generalidade dos casos (para

compartimentos em que haja Tempo de Reverberação atribuível em projecto, o valor de referência a considerar será o do respectivo Tempo de Reverberação do dimensionamento, de acordo com a nova legislação):

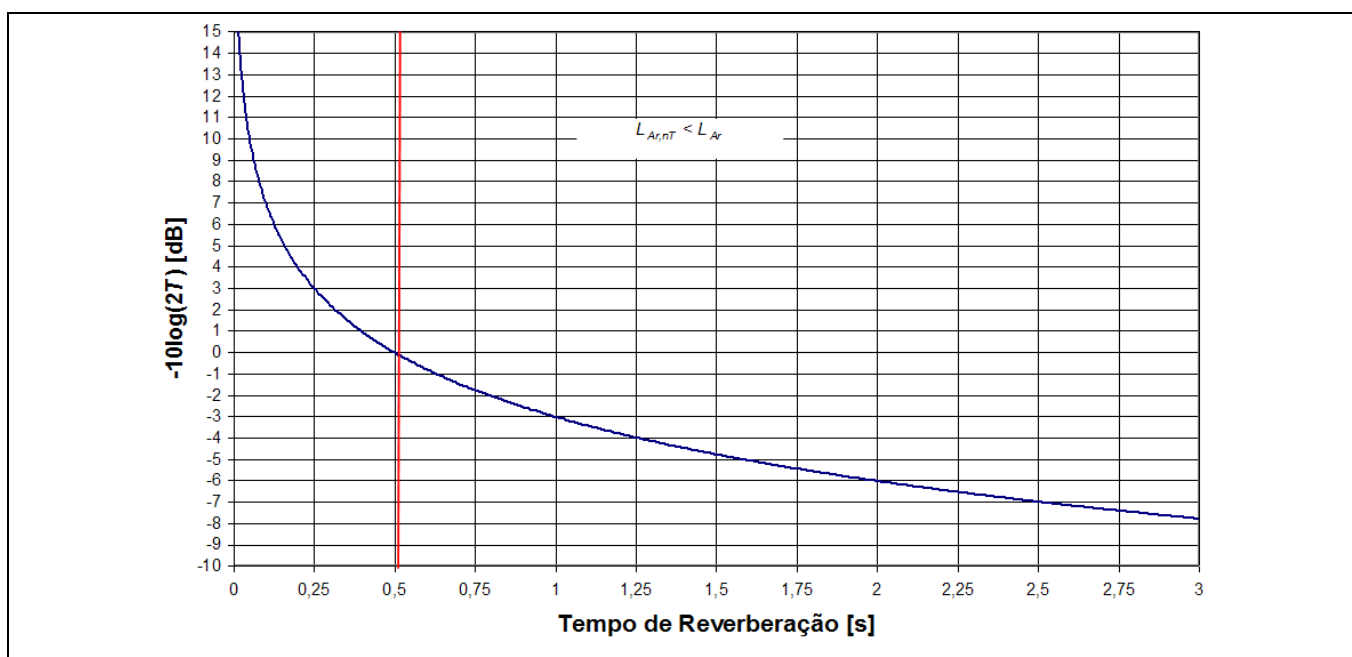
$$L_{Ar,nT} = L_A + k - 10\log\left(\frac{T_{rev}}{T_0}\right)$$

e assumindo  $L_{Ar}$ , conforme definido no anterior Regulamento, equivalente a  $L_A + k$ , resulta:

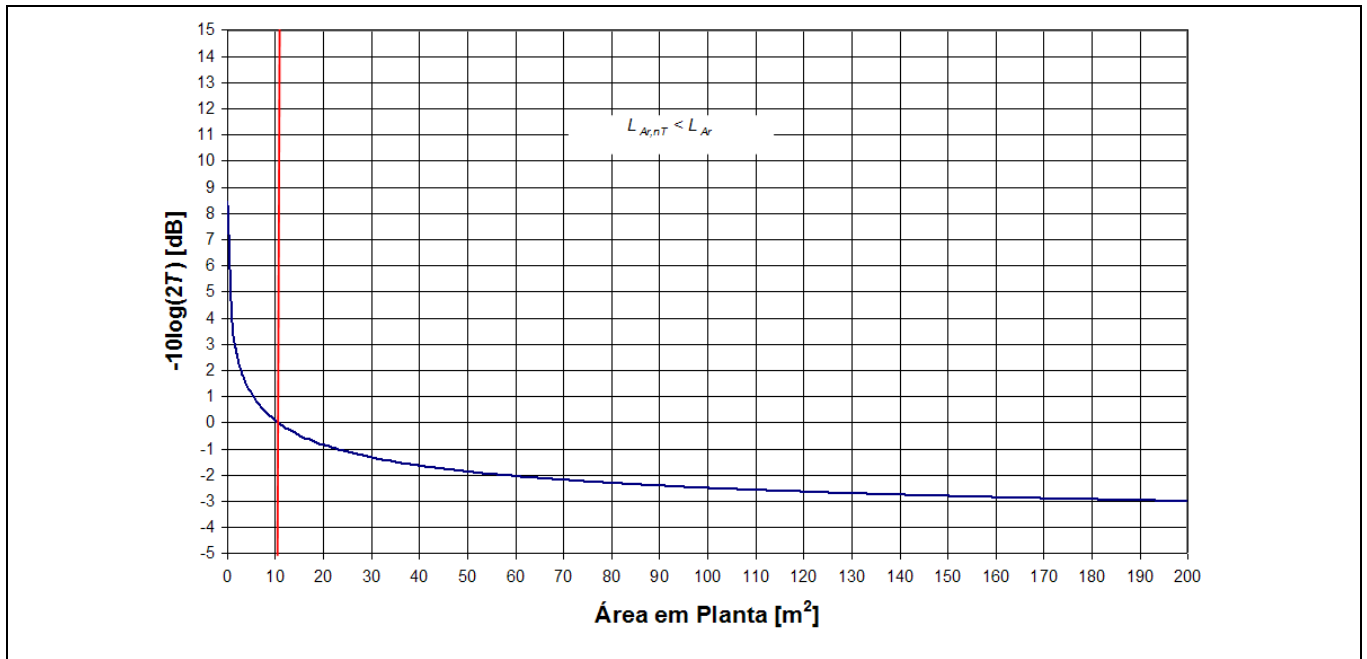
$$L_{Ar,nT} = L_{Ar} - 10\log(2T_{rev})$$

Apresenta-se no gráfico da Figura 23 a relação entre  $-10\log(2T_{rev})$  e  $T_{rev}$ .

De forma idêntica ao efectuado anteriormente, redesenha-se o gráfico da Figura 23, na Figura 24, em termos de área em planta do compartimento Receptor, assumindo a validade da fórmula de Sabine [15,16] e um pé-direito e um coeficiente de Absorção Sonora  $\alpha$  típicos, respectivamente de 3 metros e 0,17 (usando a fórmula de Sabine temos que o volume típico é  $V=10\times 0,5/0,16=31,25\text{m}^3$ ; considerando tratar-se de uma área quadrada com 3 metros de altura, resulta um área interior típica de  $\approx 59,6\text{ m}^2$ , ou seja,  $\alpha=10/59,6\approx 0,17$ ).



**Figura 23: Relação entre os Níveis de Avaliação efectivos e Padronizados, em função do Tempo de Reverberação**



**Figura 24: Relação entre os Níveis de Avaliação efectivos e Padronizados, em função da área em planta**

Para que se possa perceber melhor a forma de ler os gráficos apresentados, exemplificam-se os seguintes casos:

1. Para uma área em planta de  $60 \text{ m}^2$  o gráfico da Figura 24 diz-nos que a correcção é  $-2 \text{ dB}$ , ou seja, o  $L_{Ar,nT}$  é  $2 \text{ dB}$  inferior ao  $L_{Ar}$ . Para uma área em planta inferior a  $10 \text{ m}^2$  o  $L_{Ar}$  vai ser menor do que o  $L_{Ar,nT}$ ;
2. Para uma área em planta de  $5 \text{ m}^2$ , o gráfico da Figura 22 diz-nos que a correcção é  $3 \text{ dB}$ , ou seja, os parâmetros de isolamento a sons aéreos padronizados ( $D_{2m,nT}$  e  $D_{nT}$ ) são  $3 \text{ dB}$  inferiores aos respectivos parâmetros de isolamento a sons aéreos normalizados ( $D_{2m,n}$  e  $D_n$ ), e o parâmetro de isolamento a sons de percussão padronizado ( $L'_{nT}$ ) é  $3 \text{ dB}$  superior ao respectivo parâmetro de isolamento a sons de percussão normalizado ( $L'_n$ ). Para uma área em planta de  $20 \text{ m}^2$ , os parâmetros de isolamento a sons aéreos padronizados ( $D_{2m,nT}$  e  $D_{nT}$ ) são  $3 \text{ dB}$  superiores aos respectivos parâmetros de isolamento a sons aéreos normalizados ( $D_{2m,n}$  e  $D_n$ ), e o parâmetro de isolamento a sons de percussão padronizado ( $L'_{nT}$ ) é  $3 \text{ dB}$  inferior ao respectivo parâmetro de isolamento a sons de percussão normalizado ( $L'_n$ ).

### 3.2.3.2. Relações entre Isolamento Padronizado, Normalizado e Bruto

Relativamente às relações entre os Isolamentos Padronizados, ou Normalizados, e os Isolamentos Brutos ( $D_{2m}$ ,  $D$  e  $L'$ ) tem-se:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10\log\left(\frac{T_R}{0,5}\right) \text{ [dB]}$$

$$D_{nT} = D + 10\log\left(\frac{T_{rev}}{0,5}\right) \text{ [dB]}$$

$$L'_{nT} = L' - 10\log\left(\frac{T_{rev}}{0,5}\right) \text{ [dB]}$$

$$D_{2m,n} = D_{2m} - 10\log\left(\frac{A_{eq}}{10}\right) \text{ [dB]}$$

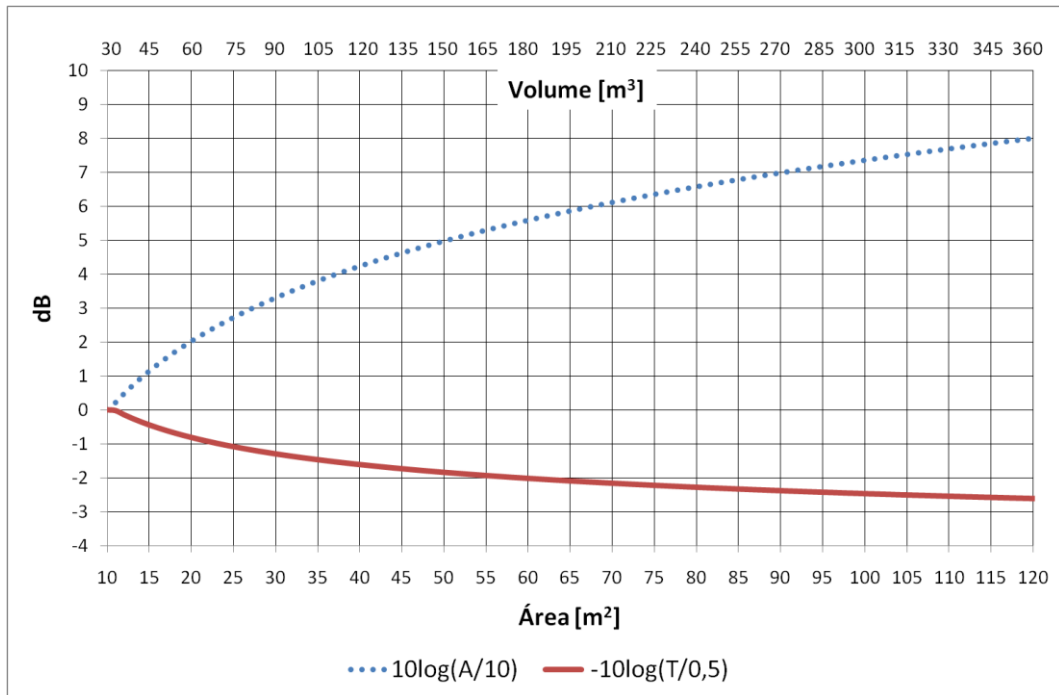
$$D_{nT} = D - 10\log\left(\frac{A_{eq}}{10}\right) \text{ [dB]}$$

$$L'_{nT} = L' + 10\log\left(\frac{A_{eq}}{10}\right) \text{ [dB]}$$

Assumindo compartimentos com área em planta quadrada, uma altura de 3 m, a validade da Equação de Sabine [15,16] e um coeficiente de Absorção Sonora médio constante de 0,17 para as superfícies interiores dos compartimentos, apresenta-se na Figura 25 a variação de  $10\log(A_{eq}/10)$  e de  $-10\log(T_{rev}/0,5)$  em função da Área em Planta e do Volume do compartimento.

Verifica-se assim existir uma maior variação da correcção Normalizada (Área de Absorção Sonora Equivalente; correcção máxima para os valores apresentados de 8 dB) do que da correcção Padronizada (Tempo de Reverberação; correcção máxima para os valores apresentados menor do que 3 dB), o que faz com que os Isolamentos Padronizados estejam, em condições normais, mais próximos do isolamento Bruto (efectivo), o que, do ponto de vista do percipiente, tem vantagens e talvez justifique a tendência internacional (pelo menos na legislação Espanhola [e7], Francesa [84] e Inglesa [85]) de limitação em termos de valores Padronizados e não em termos de valores Normalizados.

De referir ainda que a nova legislação [18], esclarece que no caso de compartimentos em que haja Tempo de Reverberação atribuível em projecto, ser o respectivo Tempo de Reverberação do dimensionamento, a ser considerado com Tempo de Reverberação de referência, o que corresponde a uma efectiva melhoria relativamente à anterior legislação [17].



**Figura 25: Relação entre a correção Normalizada e a correção Padronizada**

### 3.2.3.3. Comparação das exigências do DL 129/2002 e do DL 96/2008

A análise dos requisitos, das equações e dos gráficos anteriores, permite concluir o seguinte, em termos de condições típicas:

1. Os requisitos de Isolamento Sonoro do novo Regulamento [18] são:
  - Mais exigentes, do que os requisitos do anterior Regulamento [17], para compartimentos cuja área em planta seja inferior a cerca de  $10 \text{ m}^2$ ;
  - Igualmente exigentes aos requisitos do anterior Regulamento [17], para compartimentos cuja área em planta seja cerca de  $10 \text{ m}^2$ ;
  - Menos exigentes, do que os requisitos do anterior Regulamento [17], para compartimentos cuja área em planta seja superior a cerca de  $10 \text{ m}^2$ .
  
2. Os requisitos de Nível de Avaliação do novo Regulamento [18] são (de notar que os novos limites são genericamente 3 dB mais exigentes):
  - Mais exigentes, do que os requisitos do anterior Regulamento [17], para compartimentos cuja área em planta seja inferior a cerca de  $200 \text{ m}^2$ ;
  - Igualmente exigentes aos requisitos do anterior Regulamento [17], para

compartimentos cuja área em planta seja cerca de 200 m<sup>2</sup>;

- Menos exigentes, do que os requisitos do anterior Regulamento [17], para compartimentos cuja área em planta seja superior a cerca de 200 m<sup>2</sup>;

Sendo os compartimentos com menos de 10 m<sup>2</sup> e os compartimentos com mais de 200 m<sup>2</sup>, pouco comuns na construção Portuguesa, conclui-se genericamente que o novo Regulamento, em condições típicas, apresenta-se como menos exigente do que o Regulamento anterior, para os Isolamentos Sonoros, e mais exigente do que o Regulamento anterior, para os Níveis de Avaliação.

Para compartimentos com 40 m<sup>2</sup>, ou mais, a diferença de exigências, para os Isolamentos Sonoros, pode ser igual ou superior a 6 dB, o que corresponde a uma diferença significativa (de notar que resultados experimentais, por exemplo a referência [96], confirmam esta diferença teórica).

Para os Níveis de Avaliação, a diferença de exigências é menor do que 3 dB – para compartimentos normais entre 10 m<sup>2</sup> e 200 m<sup>2</sup> – o que corresponde a uma diferença menos significativa.

De notar que a diferença de exigências referida fica a dever-se, em grande medida, à “simples” alteração da tipologia de parâmetros (parâmetros Normalizados passam a Padronizados).

### **3.3. Vibração Ambiente**

Relativamente aos métodos de previsão de Vibração Ambiente, foram seleccionados, na ausência de métodos oficialmente recomendados, as directrizes gerais da norma [58], de acesso não livre, e o denominado Método Sueco, de acesso livre [19]. De referir que apesar de o documento de acesso livre [21] (um dos documentos mais completos que se conhece no domínio da Vibração Ambiente), associado aos denominados Critérios de Vibração USA, possuir também um método previsionial, o mesmo não é considerado no presente trabalho, de forma sistematizada, pois baseia-se na utilização de valores de nível de vibração enquanto o Método Sueco utiliza a grandeza física velocidade eficaz de vibração, estando assim mais próximo dos denominados Critérios de Vibração LNEC [20] que se pretendem preservar.

Relativamente aos métodos de medição de Vibração Ambiente, na ausência de métodos oficialmente recomendados, foram analisadas também as directrizes gerais de medição da norma [58].

Relativamente aos métodos de limitação foram analisados os denominados Critérios de Vibração LNEC [20] e os denominados Critérios de Vibração USA [21].

Dada a importância, neste quadro, do Método Sueco de previsão [19], dos Critérios de Vibração LNEC [20] e dos Critérios Vibração USA [21], considera-se adequado efectuar resumos dos mesmos, os quais se apresentam nos subcapítulos seguintes. Inclui-se também, para além dos resumos referidos, uma metodologia geral de adaptação do Método Sueco a Portugal (capítulo 3.3.1.2) e a selecção de valores limite de vibração continuada como base no Critérios de Vibração LNEC (capítulo 3.3.2.2).

### 3.3.1. Método Sueco de previsão de vibração

#### 3.3.1.1. Resumo

A referência [19] estabelece uma equação de previsão da vibração, para tráfego ferroviário, semelhante à constante no capítulo 9.3.3 da norma [58], utilizando a grandeza física velocidade eficaz de vibração (máximo dos valores eficazes de segundo a segundo à passagem), mas de uma forma global independente da frequência, mas com constantes dependentes do tipo de comboio e do tipo de edifício:

$$v_{ef} = v_{ef,0} \cdot \left( \frac{D_{vib}}{D_{0,vib}} \right)^{F_D} \cdot \left( \frac{C_{vib}}{C_{0,vib}} \right)^{F_C} \cdot F_R \cdot F_B \quad (15)$$

onde:

1.  $v_{ef,0}$  corresponde ao valor da velocidade de vibração eficaz máxima medida à distância de referência  $D_{0,vib}$  de 20 m para uma velocidade de referência de circulação do comboio  $C_{0,vib}$  de 70 km/h:
  - Comboios X2000:  $v_{ef,0} = 0,0337$  mm/s;
  - Comboios Intercidades:  $v_{ef,0} = 0,0319$  mm/s.
  - Comboios de Mercadorias:  $v_{ef,0} = 0,047$  mm/s.
2.  $D$  a distância efectiva do ponto de previsão à linha.
3.  $F_D$  o factor de atenuação com a distância, dependente do tipo de comboio e do tipo de solo, mas em média o Método [19] estabelece:
  - Comboios X2000:  $F_D = -1$ ;
  - Comboios Intercidades:  $F_D = -0,7$ ;
  - Comboios de Mercadorias:  $F_D = -0,6$ .
4.  $C$  a velocidade efectiva de circulação do comboio.

5.  $F_C$  o factor de variação com a velocidade de circulação dos comboios, sendo assumido no Método [19] um valor de 0,9 para este parâmetro.
6.  $F_R$  o factor de qualidade da linha, sendo assumido no Método [19] um valor de 0,8 para este parâmetro.
7.  $F_B$  o factor de amplificação do edifício, sendo assumido no Método [19] um valor de 2 para as casas típicas.

### 3.3.1.2. Adaptação ao caso Português

Uma vez que as constantes anteriores, associadas à equação (15), foram desenvolvidas especificamente para a Suécia, e são dependentes do tipo de infra-estrutura ferroviária, do tipo de comboios, do tipo de solo e do tipo de edifícios, interessa adaptar tal equação e tais constantes a Portugal. Com essa intenção de adaptação/desenvolvimento de um método aplicável ao caso Português, o capítulo 6.3.3 desenvolve a seguinte metodologia geral de previsão da vibração [97]:

1. Caracterização *in situ* das atenuações expectáveis entre a futura zona de geração de vibração e os Receptores Potencialmente Afectáveis.
2. Criação/utilização de dados de base de vibração futura expectável junto à Fonte em função do tipo de Fonte.
3. Previsão da vibração futura nos pontos Receptores com base nas atenuações obtidas *in situ* e nos dados de base de emissão vibrátil da infra-estrutura.

### 3.3.2. Critérios de Vibração LNEC

#### 3.3.2.1. Resumo

No documento [20], estão indicados os seguintes Quadros (Quadro 24 e Quadro 25) para a incomodidade e danos nos edifícios (excluem-se monumentos e edifícios sensíveis) devido a vibração continuada. Está ainda estabelecido o seguinte na pág. 5 desse documento [20]: “*Para os equipamentos sensíveis, os níveis de vibração admissíveis devem ser especificados pelos respectivos fabricantes. Quanto a ruído estrutural o LNEC tem utilizado o seguinte critério, que assegurará geralmente a não emissão pelo elemento vibrante, piso, tecto ou parede, de ruído superior a 40 dB(A): valor eficaz da componente da vibração perpendicular ao elemento vibrante acima dos 63 Hz, e nas bandas audíveis:  $v_{ef}(f \geq 63 \text{ Hz}) < 0,03 \text{ mm/s}$ ”.*

**Quadro 24: Critérios de Vibração LNEC para a incomodidade**

$v_{ef}$ mm/s)	Sensação
$v_{ef} < 0,11$	nula
$0,11 < v_{ef} < 0,28$	perceptível, suportável para pequena duração
$0,28 < v_{ef} < 1,10$	nítida, incómoda, podendo afectar as condições de trabalho
$1,10 < v_{ef}$	muito nítida, muito incómoda, reduzindo as condições de trabalho

Nota: Componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa

**Quadro 25: Critérios de Vibração LNEC para danos em edifícios**

$v_{ef}$ mm/s)	Sensação
$v_{ef} < 3,5$	praticamente nulos
$3,5 < v_{ef} < 7$	possibilidade de danos cosméticos em edifícios antigos
$7 < v_{ef} < 21$	fendilhação ligeira nos revestimentos
$21 < v_{ef} < 42$	fendilhação acentuada nos revestimentos e alvenarias
$42 < v_{ef}$	danos consideráveis; possível fendilhação da estrutura de betão armado

Nota: Componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa

### 3.3.2.2. Selecção dos valores limite

Pode-se assim seleccionar dos Critérios [20] os valores limite que se apresentam no Quadro 26.

**Quadro 26: Valores limite com base nos Critérios de Vibração LNEC**

Inexistência de danos nos edifícios (excluem-se monumentos e edifícios sensíveis)	Inexistência de incomodidade humana devida à vibração propriamente dita	Inexistência de incomodidade humana devida ao ruído estrutural no interior dos edifícios	Inexistência de interferência no funcionamento de equipamentos sensíveis
$v_{ef} < 3,5$ mm/s	$v_{ef} < 0,11$ mm/s	$v_{ef}(f \geq 63 \text{ Hz}) < 0,03$ mm/s	Especificação dos fabricantes

### 3.3.3. Critérios de Vibração USA

Para que possam ser comparáveis com os Critérios [20], os valores dos Critérios [21] expressos em nível de velocidade de vibração (VdB; valor de referência  $1 \times 10^{-6}$  inch/s) foram convertidos em mm/s (valor máximo da velocidade eficaz de segundo a segundo [21]) através da seguinte expressão (considerou-se 1 inch = 25,4 mm):

$$v_{ef} = 10^{\text{VdB}/20} \times 25,4 \times 10^{-6} \text{ mm/s} \quad (16)$$

#### 3.3.3.1. Incomodidade humana devida à vibração e ao ruído estrutural

Os Critérios [21] diferenciam 5 tipos de uso e 3 tipos de número de eventos de vibração particular, e consideram os seguintes valores limite (Quadro 27) para que não ocorra incomodidade devido à percepção humana da vibração e devido ao ruído estrutural.

**Quadro 27: Resumo dos Critérios de Vibração USA**

Tipo de uso	Vibração estrutural (VdB e mm/s)			Ruído estrutural*		
	Mais de 70 eventos de vibração particular por dia	Entre 30 e 70 eventos de vibração particular por dia	Menos de 30 eventos de vibração particular por dia	Mais de 70 eventos de vibração particular por dia	Entre 30 e 70 eventos de vibração particular por dia	Menos de 30 eventos de vibração particular por dia
Habitacões e edifícios onde as pessoas usualmente dormem (Habitacões, enfermarias, hotéis, etc)	72 VdB 0,101 mm/s	75 VdB 0,143 mm/s	80 VdB 0,254 mm/s	35 dB(A) 60 VdB 0,025mm/s	38 dB(A) 63 VdB 0,036 mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064 mm/s
Zonas com utilização à vibração sobretudo no período diurno (escolas, igrejas, escritórios sossegados, etc)	75 VdB 0,143 mm/s	78 VdB 0,202 mm/s	83 VdB 0,359 mm/s	40 dB(A) 65 VdB 0,045mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064 mm/s	48 dB(A) 73 VdB 0,113 mm/s
Salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação	65 VdB 0,045 mm/s			25 dB(A) 50 VdB 0,008 mm/s		
Auditórios	72 VdB 0,101 mm/s	80 VdB 0,254 mm/s	30 dB(A) 55 VdB 0,014 mm/s	38 dB(A) 63 VdB 0,036 mm/s		
Teatros			35 dB(A) 60 VdB 0,025 mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064 mm/s		

\* A transformação da vibração em ruído depende de vários factores, nomeadamente da frequência de vibração e das características de Absorção Sonora no interior do compartimento. Em condições normais de absorção sonora e para um Espectro predominantemente nos 60 Hz, é expectável uma diferença de 25 dB entre o nível de ruído em dB(A) e o nível de vibração [21]. Para um Espectro predominantemente nos 30 Hz a diferença é tipicamente maior [21], pelo que os limites apresentados são os mais exigentes e associados a um Espectro predominantemente nos 60 Hz.

### 3.3.3.2. Danos nos edifícios

Nos Critérios [21] não são apresentados limites, em termos de danos nos edifícios, para a fase de exploração de infra-estruturas ferroviárias – pois os projectos típicos de infra-estruturas de transporte ferroviário não são susceptíveis de causar danos nos edifícios – mas apenas para a fase de construção, sendo esses limites expressos em termos da velocidade de pico e convertidos para velocidade eficaz, nesse documento, considerando um factor de crista [21] de 4:

1. Edifícios extremamente susceptíveis:  $v_{pico} = 3 \text{ mm/s} \rightarrow v_{ef} = 0,8 \text{ mm/s}$ ;
2. Edifícios sem projecto de engenharia:  $v_{pico} = 5 \text{ mm/s} \rightarrow v_{ef} = 1,3 \text{ mm/s}$ ;
3. Edifícios com projecto de engenharia:  $v_{pico} = 8 \text{ mm/s} \rightarrow v_{ef} = 2 \text{ mm/s}$ ;
4. Edifícios reforçados:  $v_{pico} = 13 \text{ mm/s} \rightarrow v_{ef} = 3 \text{ mm/s}$ .

### 3.3.3.3. Interferência no funcionamento de equipamentos sensíveis

Os Critérios [21] distinguem os seguintes casos:

1.  $v_{ef} < 0,2$  mm/s: adequado para computadores e microscópios ópticos de baixa resolução (20×);
2.  $v_{ef} < 0,1$  mm/s: adequado para microscópios ópticos de média resolução (100×);
3.  $v_{ef} < 0.05$  mm/s: adequado para microscópios ópticos de média a alta resolução (400×), microbalanças e balanças ópticas;
4.  $v_{ef} < 0.025$  mm/s: adequado para equipamento com detalhe de 3 microns;
5.  $v_{ef} < 0.012$  mm/s: adequado para equipamento com detalhe de 1 microns;
6.  $v_{ef} < 0.006$  mm/s: adequado para microscópios electrónicos;
7.  $v_{ef} < 0.002$  mm/s: adequado para equipamentos extremamente sensíveis.

De notar que os equipamentos sensíveis à vibração são eles próprios, em condições normais, condicionados em função da vibração de fundo (residual) existente nos locais de implantação, razão pela qual os limites a considerar, para equipamentos já implementados, têm de ser entendidos não só em função dos valores absolutos apresentados anteriormente, mas também em função da modificação das características vibráticas do local, sendo usualmente suficiente garantir a não ultrapassagem da vibração actualmente existente no local para não ocorrer interferência com equipamentos sensíveis à vibração.

## **4. Erros, inconsistências e indefinições encontrados**

Ainda que seja notória a evolução do sistema de Acústica Ambiental Português, sobretudo a nível de Ruído Ambiente, desde 1987, altura em que foi publicado em Portugal, de forma pioneira a nível mundial, o primeiro Regulamento Geral do Ruído [34], tendo sido já publicadas, desde então e no essencial, 2 revisões desse Regulamento [10,35] e sido criado um Regulamento específico associado aos Edifícios o qual já possui 2 revisões [17,18], encontram-se, naturalmente alguns erros, inconsistências e indefinições [54,98] que se explicitam em seguida, na expectativa de estar a contribuir para a melhoria do sistema e de poder direccionar e justificar os desenvolvimentos subsequentes apresentados nos capítulos “5 Sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos” e “6 Métodos e acessibilidades desenvolvidos”.

Em termos de Vibração Ambiente os desenvolvimentos são significativamente menores, não existindo ainda sequer uma legislação de limitação geral da Vibração Ambiente continuada, e mantém-se ainda em vigor, sem qualquer alteração, a legislação de protecção de danos em edifícios devido a explosões ou solicitações similares, datada de 1983 [99,100]. Ainda relativamente à Vibração Ambiente, na medida em que o presente trabalho se direcciona para a vibração continuada, proveniente sobretudo de vias-férreas, não se tratam aqui as inconsistências da legislação [99,100], mas apenas dos critérios [20]. De referir contudo, para os interessados, a referência [101], que trata especificamente a legislação [99,100].

### **4.1. Ruído Ambiente Exterior**

#### **4.1.1. Erros**

No quadro de normas, legislação e critérios de Ruído Ambiente Exterior listados anteriormente, apenas se encontrou dois erros, um na norma [5], e outro na norma [6], a saber:

1. NP ISO 1996-1: 2011 [5]: Quadro A.1, pág. 20, onde é dito que a correcção para Tonalidades Proeminentes é 3 a 6 dB, deveria estar 0 a 6 dB, como é possível de constatar na metodologia associada explicitada na NP ISO 1996-2: 2011, nomeadamente na Figura C.1 dessa norma.
2. NP ISO 1996-2: 2011 [6]: Figura C.1, pág. 34, onde é dito que X é expresso em dB e Y em Hz, deveria ser ao contrário (X em Hz e Y em dB).

### **4.1.2. Insuficiência dos dados de base existentes**

Conforme é possível observar nas referências [4,28,30-32], as previsões de Ruído Ambiente Exterior têm por base o conhecimento dos seguintes dados, verificando-se actualmente as seguintes principais insuficiências, que podem conduzir a previsões mais incertas:

1. Dados de emissão sonora específicos para a infra-estrutura em análise [geometria (horizontal e vertical), potência sonora, directividade e Espectro da(s) Fontes(s)]:

Verifica-se que a maioria dos dados de emissão sonora disponíveis são em Banda Larga ou, na melhor das hipóteses, em Bandas de 1/1 de oitava, o que faz com que o documento [56] indique que as previsões, mesmo para os novos métodos europeus por Bandas de 1/3 de oitava, devam ser efectuadas em Bandas de 1/1 de oitava (ver pág. 22/148 da referência [56]). No que concerne especificamente ao tráfego rodoviário, verifica-se que não existe, normalmente, informação suficiente, quer no que concerne às Velocidades Contínuas Equivalentes praticadas (ver capítulo 3.1.3), quer às atenuações dos pavimentos rodoviários por Bandas de frequência (a informação é normalmente escassa e na melhor das hipóteses por Banda Larga, como se pode constatar quer na Recomendação [102] quer no Guia de Boas Práticas [1]). Para os novos modelos europeus harmonizados acresce um conjunto significativo de novas variáveis com influência na emissão sonora, por exemplo, para o tráfego rodoviário, passa a ser necessário distinguir 4 tipos de categorias de veículos nas contagens (conferir comentário da Alemanha na pág. 39/148 do documento [56], relativamente à inexistência de informação de tráfego distinguindo essas 4 categorias), pelo que assume ainda maior importância a necessidade de obtenção de dados de base completos e fidedignos a favor de uma modelação mais rigorosa e, normalmente, menos sobrevalorizada. De notar que apesar de algumas das “novas” variáveis com influência significarem pequenas variações dos níveis sonoros, conforme explicitado em [103], tem-se que uma variação de apenas 1 dB pode ter consequências muito significativas a nível do dimensionamento das Barreiras Acústicas, como se explicita no capítulo 3.1.2. Uma das “novas” variáveis com influência na emissão sonora, e que será importante controlar de futuro (pois actualmente não existe informação associada, pelo menos em Portugal, tanto quanto se conhece), sobretudo a favor de uma modelação mais rigorosa e menos sobrevalorizada, é a temperatura do pavimento (trata-se de uma variável “favorável” a Portugal, no quadro de temperaturas médias da Europa, e “favorável” ao Sul do país, pois quanto mais alta a temperatura do pavimento menor a emissão sonora), cuja variação associada

dos níveis sonoros, relativamente à temperatura de referência de 20 °C, pode ser escrita, de acordo com a pág. 54/148 da referência [56], de forma simplificada e para o intervalo 5°C a 35°C:

$$\Delta L_{\circ C} = 0,08(20 - T_{\circ C})$$

2. Distância (horizontal e vertical) dos pontos Receptores à infra-estrutura em análise:

Em alguns casos, devido à não definição adequada da denominada Área de Influência Acústica (ver capítulo 6.1.3) da infra-estrutura, tem-se que a cartografia disponível não é suficientemente abrangente, o que faz com que seja muito importante a boa e antecipada definição da Área de Influência Acústica (ver capítulo 6.1.3.1). Numa fase tão antecedente quanto possível, no caso particular dos Parques Eólicos, seria até conveniente a definição das denominadas Áreas de Permissão Acústica de Localização dos Aerogeradores (ver capítulo 6.1.2).

3. Temperatura e humidade média, com influência na absorção atmosférica, e coeficiente de Absorção Sonora médio anual dos solos:

Ainda que se tratem de parâmetros com uma influência geral não muito significativa e com maior influência a maiores distâncias, a favor de uma modelação futura mais rigorosa, seria importante que se efectuassem esforços no sentido de obtenção de informação média anual específica para as infra-estruturas em análise, nomeadamente através de métodos de determinação da Absorção Sonora dos solos (de notar que ao longo do ano, sobretudo em terrenos permeáveis, podem existir significativas variações em termos de vegetação e consequentemente em termos de coeficiente de Absorção Sonora dos solos), ou da sua impedância acústica (por exemplo o método [104]) e de determinação dos valores médios anuais (dia, entardecer e noite) da temperatura e humidade relativa.

4. Características geométricas e de Absorção Sonora dos obstáculos:

Para os métodos provisórios não é possível definir o isolamento sonoro dos obstáculos, em especial das Barreiras Acústicas. No que concerne às características geométricas dos edifícios, nem sempre existe informação actualizada contendo todos os edifícios e a que existe muitas vezes apenas possui a planimetria sem cotas dos edifícios. Relativamente às características de Absorção Sonora dos edifícios, trata-se de uma informação muito variável, sobretudo se existe, de forma significativa, possibilidade de abertura/fecho de janelas e/ou de pendurar roupa para

secar, pelo que é necessário equacionar devidamente o esforço necessário de obtenção deste tipo de informação, em termos médios anuais, caso se pretenda uma modelação mais rigorosa.

5. Probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação do som (gradientes verticais positivos de velocidade do som):

Trata-se de uma informação que infelizmente não existe disponível em Portugal, o que faz com que se usem recorrentemente valores seguros que conduzem normalmente a uma sobrevalorização dos níveis sonoros previstos (ver capítulo 3.1.1.2).

### **4.1.3. Inconsistência na probabilidade de ocorrência meteorológica para Portugal**

Na ausência de informação específica, o Guia de Boas Práticas [1] recomenda, para os períodos base Europeus, as seguintes probabilidades majorantes de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora, em todas as direcções:

1. Dia (7h-19h): 50%;
2. Entardecer (19h-23h): 75%;
3. Noite (23h-7h): 100%.

Para períodos de referência diferentes dos referidos, como acontece em Portugal, a referência [2] recomenda uma adaptação em conformidade (ver capítulo 3.1.1), o que não é tido em conta na referência [3] da Agência Portuguesa do Ambiente.

### **4.1.4. Um só espectro de emissão sonora para o tráfego rodoviário**

No caso concreto da norma [4], acresce ao que foi referido anteriormente em termos de insuficiência de dados de base, o facto de o método assumir um único tipo de Espectro de emissão sonora, independentemente da velocidade, tipo de fluxo e percentagem de Pesados, o que tem consequências sobretudo a nível do sobredimensionamento das Barreiras Acústicas [44,45], conforme se procura demonstrar no capítulo 3.1.2.

### **4.1.5. Impossibilidade de previsão das características tonais**

Os modelos provisórios de previsão de Ruído Ambiente Exterior só permitem o cálculo por Bandas de

oitava [4,28,30- 32], pelo que, tendo em conta que o método estabelecido no Anexo I da legislação [10] preconiza a análise por Bandas de 1/3 de oitava, para determinação da existência de características tonais, não é possível efectuar a previsão da existência ou não existência de características tonais com base nos métodos provisórios de previsão.

Tendo em conta esta limitação e a importância que pode ter a determinação da existência de características tonais na avaliação de um determinado projecto associado a uma Actividade Ruidosa Permanente (previsão normalmente através da norma [28]), apresenta-se no capítulo 6.1.5 um método alternativo para cálculo das características tonais [41], por recurso aos métodos provisórios (1/1 de oitava) e de acordo com a legislação em vigor.

De notar que se prevê que os novos Métodos Europeus harmonizados [56] já permitam o cálculo por Bandas de 1/3 de oitava, contudo é expectável que as exigências de harmonização para os Mapas de 2011/2012, obriguem apenas ao cálculo por Bandas de 1/1 de oitava, conforme é possível constatar na pág. 22/148 da referência [56].

De referir também que a nova série de normas [5,6], estabelece um novo método para determinação de características tonais que faz uso de análise FFT, com frequências espaçadas menos do que 1/3 de oitava.

#### **4.1.6. Impossibilidade de previsão do ruído das juntas de dilatação**

Pelos contactos que se estabeleceram com a Estradas de Portugal SA, e outras concessionárias, verifica-se que existe uma significativa incidência de queixas devido ao ruído da passagem dos veículos sobre as juntas de dilatação [105], contudo os métodos actuais (e os futuros, tanto quanto é possível observar na informação disponível sobre os mesmos, nomeadamente no documento [56]), não permitem modelar directamente este tipo especial de Fonte de ruído.

Apesar de não se possuir informação sobre os diferentes tipos de juntas de dilatação existentes em Portugal, decidiu-se incluir no presente trabalho um processo de investigação do ruído associado, através de medições em laboratório e *in situ*, que se apresenta no capítulo 6.2.2.

#### **4.1.7. Uma só eficácia para uma Barreira Acústica**

A norma [11] estabelece um método para determinação da eficácia de Barreiras Acústicas, contudo aparenta assumir que existe apenas uma eficácia para a mesma Barreira Acústica. Uma vez que ao

longo do dia podem existir vários gradientes verticais de velocidade do som, tem-se que podem ocorrer diferentes raios de curvatura dos raios sonoros o que pode fazer com que existam, na realidade, diferentes eficácias, ao longo do dia, para a mesma Barreira Acústica. Analisa-se no capítulo 3.1.5 a diferença de eficácia prevista pelo *software* Cadna A/NMPB'96 (ver Apêndice A4) para Barreira Acústica típica, para diferentes probabilidades de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora.

#### **4.1.8. Indefinição quantitativa das ocorrências a desprezar na medição de $L_{Max}$ à passagem de veículos rodoviários**

A norma [24] estabelece no seu capítulo 7.2, alguns critérios não objectivos de quais as medições que devem ser descartadas, nomeadamente:

1. Devem ser descartadas as medições em que, nos níveis sonoros à passagem de 1 veículo, exista influência do ruído de outros veículos;
2. Devem ser excluídos os veículos que possuem ruído atípico, nomeadamente escape muito ruidoso, ruído atípico perceptível proveniente do corpo do veículo, ou utilização de dispositivo de sinalização sonora (buzina);
3. Devem ser excluídos os veículos que aparentemente não circulam a velocidade constante.

Julga-se que a melhor forma de quantificar estes critérios, será comparar a variação teórica dos níveis sonoros à passagem de um veículo a velocidade constante, com a variação efectivamente ocorrente [106-108], pelo que se desenvolve tal perspectiva no capítulo 6.2.3.

#### **4.1.9. Não estabelecimento de um desvio padrão típico para tráfego ferroviário**

A norma [6] estabelece o seguinte no seu capítulo 6.2 Road traffic: “*Se não existir outra informação, a incerteza padrão  $X$  na Tabela 1 pode ser calculada pela seguinte fórmula:  $X = \frac{10}{\sqrt{n}}$ ”.*

No caso do tráfego ferroviário (capítulo 6.3 Rail traffic), não existe este tipo de informação, o que dificulta a determinação da incerteza quando não é viável a caracterização do número mínimo de 20 comboios indicado (de notar que a referência [60] estabelece, no seu capítulo “7.3 Rail Traffic”, desvios padrão típicos de tráfego ferroviário entre 5 e 10 dB para diferentes condições de medição).

No capítulo 6.2.5, abordam-se as particularidade da monitorização do tráfego ferroviário e propõe-se uma metodologia específica de monitorização, contabilizando as incertezas e ajustando o esforço de medição em conformidade [109,110]. O capítulo 6.2.5 evidencia ainda que será conveniente considerar não só nas medições os tipos de comboios que contribuem significativamente para o Ruído Global, mas também os tipos de comboios que, não contribuindo significativamente para o Ruído Global, possam contribuir significativamente para o cálculo da incerteza.

#### **4.1.10. Pouca incidência de sistemas de monitorização contínua e aparente “desvalorização” de equipamentos de Classe 2**

Tanto quanto se sabe apenas existem sistemas de medição de ruído de Classe 1 homologados em Portugal, o que de alguma forma cria desvantagens económicas, pois das auscultações efectuadas ao mercado, os preços de um sistema de medição de Classe 1 podem ser cerca de 10 vezes superiores aos preços de um sistema de Classe 2 (de notar, contudo, que de acordo com a Tabela 1 da referência [60], deve ser atribuída uma incerteza padrão de 0,5 dB a um equipamento de Classe 1 e uma incerteza padrão de 1,5 dB a um equipamento de Classe 2), o que talvez possa justificar a pouca incidência de sistemas de monitorização contínua de ruído nas principais Fontes de ruído (tanto quanto se sabe apenas os Aeroportos Portugueses possuem sistema de monitorização contínua de ruído; as principais vias rodoviárias e ferroviárias não possuem sistemas de monitorização contínua de ruído). Acresce ao referido o facto de a maioria dos sistemas de medição de ruído, mesmo de Classe 1, com mais de cerca de 10 anos, não possuírem memória suficiente para poderem ser adaptados facilmente a medições mais prolongadas.

Face ao explicitado, afigurou-se adequado tentar desenvolver forma de ligação de um Sonómetro comum de Classe 1 (NA27 da RION; representante em Portugal: MRA Instrumentação) a um computador, por forma a aumentar a sua capacidade de registo prolongado (ver capítulo 3.1.6.4), e por forma até a possibilitar o registo áudio do ruído em causa, e a efectuar medições simultâneas com sistema de medição de Classe 2 (8005 da Peak Tech; representante em Portugal: FFonseca) para comparação dos resultados obtidos (ver capítulo 3.1.6.4).

#### **4.1.11. Insuficiências nos Critérios de Representatividade IPAC**

Os Critérios IPAC visam o estabelecimento de princípios de medição que garantam a representatividade, e centram a garantia dessa representatividade na diferença entre os valores das

diferentes amostragens e não na necessidade de obtenção e apresentação, no Relatório de Medição, de informação específica relativamente à variabilidade sonora da situação em apreço, nem explicitam a necessidade de determinação e apresentação das incertezas da medição, o que se afigura corresponder a uma insuficiência, de acordo com o apresentado no capítulo 3.1.6, e de acordo com a tendência internacional de necessidade de expressão das incertezas, conforme patente nas normas [5,6], pelo que apresenta sugestão indicativa de alteração no capítulo 5.1.3.1.

#### **4.1.12. Inconsistência na definição de Ruído Ambiente**

Na Legislação [10] tem-se: “<<Ruído Ambiente>> o ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado”.

Na Legislação [12] tem-se: “<<Ruído Ambiente>> um som externo indesejado ou prejudicial gerado por actividades humanas, incluindo o ruído produzido pela utilização de grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e instalações industriais, designadamente as definidas no anexo I do Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.ºs 152/2002, de 23 de Maio, 69/2003, de 10 de Abril, 233/2004, de 14 de Dezembro, e 130/2005, de 16 de Agosto”.

Estas definições são significativamente diferentes, pois para a primeira é “ideal” a monitorização em contínuo por si só, para a segunda a monitorização em contínuo tem de ser acompanhada por alguma forma de desprezar os sons “desejados” pelas populações e não prejudiciais, sobretudo aqueles que são gerados por actividades não humanas.

Por exemplo, o caso duma Zona Sensível [10] em meio rural, afastada de Grandes Infra-Estruturas de Transporte [10] (limite 45 dB(A), de Ruído Ambiente, no período nocturno [10]), sem influência de actividades humanas no período nocturno (valor particular associado desprezável relativamente ao ruído da natureza), em que o nível sonoro contínuo equivalente do Ruído Ambiente seja 46 dB(A) no período nocturno, devido ao ruído da natureza (fonação animal e aerodinâmica da vegetação), estará em incumprimento à luz da definição de Ruído Ambiente da legislação [10] e não estará em incumprimento, muito longe disso, para a definição de Ruído Ambiente da legislação [12]. A tendência internacional aparenta ser a de considerar a definição da legislação [12], não só mas também porque é mais fácil controlar/fiscalizar, e calcular incertezas, para o ruído produzido pelo homem, e pelas suas máquinas e actividades, do que para o ruído produzido pela natureza. Existem obviamente

exceções, por exemplo o caso de um hotel onde os hóspedes se queixam recorrentemente do ruído da fonação animal noturna (por exemplo, grilos), tal situação talvez seja fácil e desejável de controlar (desde que se cumpram obviamente todos os princípios ecológicos necessários), ainda que possa não ter enquadramento através da definição de Ruído Ambiente da legislação [12].

No capítulo 5.1.2 faz-se sugestão de alteração da definição de Ruído Ambiente da legislação [10].

#### **4.1.13. Ambiguidade no conceito de Espaço de Lazer**

As alíneas q) e x) do Artigo 3.º da Legislação [10] estabelecem o seguinte:

*“q) «Receptor sensível» o edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana;”... “x) «Zona sensível» a 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 nocturno”.*

Não é contudo claro o conceito de Espaço de Lazer e, dentro dos Espaços de Lazer que se consegue vislumbrar, existem diferenças claras em termos de sensibilidade ao ruído, por exemplo uma zona de bares, pode ser considerada um Espaço de Lazer, contudo a sua sensibilidade ao ruído, e até produção de ruído, normalmente no período nocturno, é completamente diferente de, por exemplo, um jardim onde as pessoas vão passear, namorar, repousar e/ou brincar, normalmente no período diurno, pelo que, a existir, deveriam ser menores as exigências legais mesmo para o período nocturno de zonas de bares. Assim, talvez seja conveniente dividir os Espaços de Lazer em pelo menos dois tipos:

1. Espaços de Lazer com Pouca Tranquilidade (tipo zonas de diversão com algum ruído);
2. Espaços de Lazer com Tranquilidade (tipo zonas de descanso, passeio e/ou cultura desejavelmente sem ruído), onde as exigências legais fossem diferentes, conforme se sugere no capítulo 5.1.2.

#### **4.1.14. Indefinição de Som Incidente e do Ponto de Avaliação**

Conforme explicitado no capítulo 3.1.4.2, não é claro o conceito de Som Incidente e é ambígua a localização do Ponto de Avaliação, o que pode fazer com que, dependendo da interpretação, possa

haver cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais para o mesmo Receptor Sensível sob a influência das mesmas condições acústicas.

#### **4.1.15. Indefinição relativamente a sensibilidades distintas em cada período de referência e ao fim-de-semana**

Os limites estabelecidos na Legislação [10] (e na sua versão anterior [35]) estão e estavam claramente direccionados para os usos do solo tipo habitacional, em que existe, tipicamente, uma maior tolerância ao ruído no período diurno, em que normalmente o percipiente humano não está em casa, uma menor tolerância no período do entardecer em que normalmente o percipiente já está em casa e pretende ter algum sossego para ler o seu livro ou ver o seu filme, e ainda uma menor tolerância no período nocturno em que o percipiente normalmente está no seu quarto em busca dum sono repousante que lhe permita retemperar energias para o novo dia que se avizinha. É, aparentemente, esta a razão que assistia a uma limitação mais tolerante no período diurno (anterior legislação [35]; na nova legislação [10] o limite equivalente aplica-se ao parâmetro  $L_{den}$ ) e menos tolerante no período nocturno (anterior e nova legislação), por exemplo, para Zonas Mistas, tem-se (nova legislação, Artigo 11.º):  $L_{den} \leq 65$  dB(A) e  $L_n$  (noite)  $\leq 55$  dB(A).

Igual proporcionalidade ocorre para o Critério de Incomodidade (Artigo 13.º, onde  $\Delta$  significa a diferença entre o Nível de Avaliação do Ruído Ambiente que integra o Ruído Particular da actividade, e o Ruído Residual): Período Diurno:  $\Delta \leq 5$  dB; Período do Entardecer:  $\Delta \leq 4$  dB; Período Nocturno:  $\Delta \leq 3$  dB.

É também esta proporcionalidade que está subjacente à definição de  $L_{den}$  [10], em que é dado um maior peso (+ 5 dB) ao período do entardecer, relativamente ao período diurno, e ainda um maior peso (+ 10 dB) ao período nocturno.

Nas circunstâncias descritas a limitação do Ruído Ambiente, através de  $L_{den}$ , de um uso do solo em que a sensibilidade ao ruído é maior no período diurno (tipo Escolas, Creches, Jardins de Infância, Centros de Saúde, etc), é assim, diga-se, contranatural.

Uma vez que o Regulamento Geral do Ruído (RGR) [10] é mais exigente para Zonas Sensíveis do que para Zonas Mistas, parte do problema poderia ser resolvido caso ocorresse uma classificação, dos usos do solo mais sensíveis no período diurno, como Zonas Sensíveis, contudo, o facto do RGR estabelecer os seguintes limites para Zonas Sensíveis (Geral):  $L_{den} \leq 55$  dB(A);  $L_{noite} \leq 45$  dB(A), pode levar

alguns decisores a pensar que classificar, por exemplo, uma Escola como Zona Sensível obriga a cumprir também o limite de 45 dB(A) para o período nocturno, ainda que a Escola não tenha actividade nesse período, o que, de alguma forma, em conjunto com a maior exigência global, pode inibir a classificação desses usos como Zona Sensível e fazer emergir a classificação como Zona Mista, para a qual os limites são:  $L_{den} \leq 65$  dB(A);  $L_{noite} \leq 55$  dB(A), razão pela qual seria importante uma limitação direccionada para o período de actividade.

De referir ainda, como exemplo demonstrativo da pouca protecção fornecida pelos limites actuais, aos usos em que a sensibilidade ao ruído é mais marcada no período diurno, que caso a zona em causa seja muito tranquila nos períodos do entardecer e nocturno, com valores típicos de,  $L_{entardecer} \leq 50$  dB(A) e  $L_{noite} \leq 45$  dB(A), então o valor de  $L_{dia}$  pode chegar a 67 dB(A), sem que  $L_{den}$  ultrapasse os 65 dB(A).

De referir também que a Organização Mundial de Saúde [111] estabelece, desde 1999, os seguintes limites para o Ruído Ambiente Exterior de escolas, creches e infantários:

1. Escolas (ruído na zona de recreio exterior):  $L_{Aeq} \leq 55$  dB(A) durante as actividades de recreio;
2. Berçários em creches e infantários (ruído exterior):  $L_{Aeq} \leq 45$  dB(A) durante as horas de sono e  $L_{Amax} \leq 60$  dB(A).

Verifica-se assim que a classificação como Zona Mista das Creches, dos Infantários e das Escolas, permite que ocorram níveis sonoros nesses locais significativamente superiores aos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde.

Salienta-se que Estudos mais recentes [112-121], incluindo os 2 Projectos Europeus seguintes:

1. *Road Traffic & Aircraft Noise & Children's Cognition & Health* (RANCH [e8]);
2. *Hypertension and Exposure to Noise near Airports* (HYENA [e9]);

têm vindo a comprovar a adequabilidade dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde e, inclusive, em alguns casos, têm apontado valores limite mais baixos, sobretudo quando os usos referidos se encontram na envolvente de Aeroportos e/ou quando os percipientes são crianças.

A conclusão principal dos Projectos Europeus é a seguinte: “A exposição a níveis sonoros superiores a 55 dB(A), devido ao sobrevoo de aviões, prejudica a compreensão da leitura e a memória de reconhecimento das crianças”.

Nesta perspectiva, aparenta corresponder a uma inconsistência grave o estabelecimento de limites objectivos para o período do Entardecer e para o Período Nocturno, para Actividades Ruidosas

Temporárias que laborem com Licença Especial de Ruído durante mais de 30 dias, (n.º 5 do Artigo 15.º da Legislação [10]) e não existirem limites para o período diurno, pelo que, no capítulo 5.1.2, sugere-se a correcção da legislação neste ponto.

De referir ainda a inconsistência da limitação do Ruído Ambiente médio anual, em habitações, sem distinguir dias úteis e fins-de-semana e feriados, pois, de acordo com a norma [5] deve ser considerada, para habitações, uma penalização de 5 dB para o ruído, no período diurno, ocorrente aos fins-de-semana e feriados. Tal situação favorecerá a protecção da população relativamente ao ruído de Actividades Ruidosas Permanentes ocorrentes essencialmente ao fim-de-semana e/ou feriados, junto a habitações, por exemplo jogos de futebol, pistas de motocrosse, autódromos, etc.

#### **4.1.16. Ambiguidades do Critério de Incomodidade**

Na alínea b) do n.º 1 do Artigo 13.º da Legislação [10], é referido o seguinte: “... *critério de incomodidade, considerado como a diferença entre o valor do indicador  $L_{Aeq}$  do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador  $L_{Aeq}$  do ruído residual...*”.

No caso de actividades que possuem mais do que um tipo de ruído, e grandes períodos sem praticamente nenhum ruído, por exemplo um talho, em que se pode distinguir, de manhã, o ruído dos camiões de descarga de carne e o arrastar das caixas de carne, e, durante o dia, de tempo a tempo, as operações de corte sobre a bancada com cutelo, e as operações de corte com serra eléctrica, e, no verão, o ruído do ar-condicionado, não é claro se é para analisar individualmente essas sub-actividades ruidosas e aplicar limites individualmente, ou se é para analisar todas em conjunto e aplicar os limites ao conjunto, o que é obviamente diferente.

A análise conjunta das sub-actividades vai resultar num valor médio energético que vai “beneficiar” as sub-actividades mais ruidosas, pelo que deste ponto de vista pode ser mais favorável para as populações a perspectiva de caracterização e limitação sub-actividade a sub-actividade, contudo, uma vez que quanto menor a duração da “actividade” mais tolerante pode ser o critério legal de incomodidade (adição do parâmetro  $D$  aos limites; ver Anexo I da Legislação [10]), e uma vez que a sobreposição das actividades pode significar níveis sonoros superiores, não é líquido que seja sempre mais favorável às populações a perspectiva de caracterização sub-actividade a sub-actividade.

De referir ainda que no caso de actividades de ocorrência aleatória, como seja o corte de carne num talho, é muito difícil estabelecer qual o Ruído Residual associado, sobretudo se o mesmo varia ao

longo do dia, pelo que era importante esclarecer que valor(es) considerar nestes casos e/ou, eventualmente, alterar o conceito de Critério de Incomodidade, no sentido de obviar estas indefinições (ver capítulo 4.1.16.1). Também no caso da coexistência de várias actividades ruidosas, não é claro se o Ruído Residual para cada Actividade Ruidosa deva corresponder ao ruído sem nenhuma Actividade Ruidosa ou ao ruído que integra as restantes Actividades Ruidosas.

#### 4.1.16.1. Ambiguidade na definição de Duração Acumulada

No n.º 2 do Anexo I da Legislação [10] é referido o seguinte: “Aos valores limite da diferença entre o  $L_{Aeq}$  do ruído ambiente que inclui o ruído particular corrigido ( $L_{Ar}$ ) e o  $L_{Aeq}$  do ruído residual, estabelecidos na alínea b) do n.º 1 do artigo 13.º, deve ser adicionado o valor  $D$  indicado na tabela seguinte. O valor  $D$  é determinado em função da relação percentual entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência”.

Não é assim claro se a Duração Acumulada se refere a acumular a duração do Ruído Particular nos diferentes períodos de referência ou a acumular, dentro do mesmo período de referência, as diferentes durações de ocorrência do Ruído Particular, o que é obviamente diferente (ver exemplos no subcapítulo 4.1.16.3). De referir que o documento [122] possui exemplos de aplicação do critério de incomodidade, contudo os mesmos não esclarecem as questões aqui levantadas.

Julga-se que de alguma forma o princípio de correcção do limite em função da duração acarreta algumas ambiguidades, sobretudo associadas ao facto de o parâmetro  $L_{eq}$  já incluir “correcção própria” em função do tempo, o que pode justificar a revisão da legislação no sentido do abandono da correcção  $D$  constante no Anexo I do DL 9/2007, conforme se sugere no capítulo 5.1.2. Admita-se o caso de uma actividade que labora entre as 7h e as 20h e que produz um  $L_{eq}$  de 70 dB(A) de Ruído Particular durante 1h, e durante as restantes 12 h produz um Ruído Particular desprezável, relativamente ao Ruído Residual [Ruído Residual = 59 dB(A) no período 7h-20h]. Assim, tem-se que o  $L_{eq,Global}$  do Ruído Particular no período 7h-20h é:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{70}{10}}}{13} \right) \approx 59 \text{ dB(A)}$$

Adicionando energeticamente o Ruído Particular com o Ruído Residual, tem-se o seguinte valor de Ruído Ambiente 7h-20h:  $\approx 62 \text{ dB(A)}$ , logo o diferencial é  $62-59=3 \text{ dB}$ .

Assumindo que o Ruído Particular ocorre só durante 1 hora, e que durante essa hora o  $L_{eq}$  do Ruído Residual se mantém 59 dB(A), tem-se um  $L_{eq}$  (1h) de Ruído Ambiente de  $\approx 70$  dB(A) e um diferencial de  $70-59=11$ dB. Aplicando a correcção  $D=4$  ( $q \leq 12,5\%$ ) tem-se um diferencial de 7 dB, que é ainda superior ao diferencial de 3 dB calculado para o período total, ou seja, a correcção  $D$  é menor do que a correcção própria do  $L_{eq}$  em função do tempo, o que faz com que, incoerentemente, se possa ter uma actividade que ocorre apenas durante 1h, no período diurno, e possui um diferencial corrigido de 7 dB, no exemplo, e outra actividade que produz 70 dB(A) durante 1 hora e até 63 dB(A), de Ruído Particular, nas restantes 12h, e cujo diferencial vai ser menor do que 7 dB:  $65-59=6$  dB:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( \frac{12 \times 10^{\frac{63}{10}} + 10^{\frac{70}{10}}}{13} \right) \approx 64 \text{ dB(A)}$$

$$L_{eq}(\text{Ruído Ambiente}) = 10 \log \left( 10^{\frac{64}{10}} + 10^{\frac{59}{10}} \right) \approx 65 \text{ dB(A)}$$

Assim, uma vez que a legislação actual já o permite, conforme se exemplificou, sugere-se, no sentido de correcção da inconsistência referida, e inclusivamente no sentido de correcção de algumas das dúvidas expostas no capítulo 4.1.16, que todos os Ruídos Particulares das actividades sejam calculados para a totalidade dos períodos de referência em que ocorrem (período diurno, do entardecer e nocturno) e o Ruído Residual seja também determinado para a totalidade de cada período de referência em causa, o que significará uma “maior” permissão relativamente às situações de actividades de curta duração, mas que já era permitida para actividades de maior duração mas com ruído mais significativo num curto período.

Sugere-se ainda que se esclareça que o Ruído Ambiente para cada actividade ruidosa, deverá integrar todas as sub-actividades dessa actividade.

No que concerne à questão de, na coexistências de várias actividades ruidosas, qual o Ruído Particular/Ruído Residual a considerar, julga-se que deverá caber a um organismo oficial (Câmara Municipal ou Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional) decidir caso a caso, fundamentadamente, em função das perspectivas de evolução previstas para os locais (por exemplo, para uma zona em que se quer preservar o ambiente sonoro, ou em que o ruído de cada uma das actividades ainda não está consolidado na população, talvez faça sentido que o Ruído Residual, para várias actividades, corresponda ao ruído sem nenhuma Actividade Ruidosa, e o Ruído Particular, para análise do Critério de Incomodidade, ao ruído conjunto das actividades, enquanto para uma zona em que se pretende uma evolução económica estratégica, ou em que existem já actividades cujo ruído já se

encontra consolidado na população, talvez faça sentido que o Ruído Residual para cada actividade corresponda ao ruído que integra as restantes actividades, ou pelo menos as já consolidadas, e que o critério de incomodidade seja analisado actividade a actividade).

De referir ainda que, na perspectiva apresentada no capítulo 4.1.15, deverá a perspectiva actual de limites diferentes para cada período de referência, com maior exigência para o período nocturno, aplicar-se apenas às Habitações. Para as restantes zonas com sensibilidade ao ruído deverão os limites aplicar-se apenas ao período de actividade, conforme se sugere capítulo 5.1.2. Tal perspectiva elimina inclusive, ainda que parcialmente, as inconsistências apresentadas no final do capítulo 4.1.16.3.

#### **4.1.16.2. Mês mais crítico em função da emissão e não do diferencial**

No n.º 4 do Anexo I da Legislação [10], é referido o seguinte: *Para efeitos da verificação dos valores fixados na alínea b) do n.º 1 e no n.º 5 do artigo 13.º, o intervalo de tempo a que se reporta o indicador  $L_{Aeq}$  corresponde ao período de um mês, devendo corresponder ao mês mais crítico do ano em termos de emissão sonora da(s) fonte(s) de ruído em avaliação no caso de se notar marcada sazonalidade anual.*

Sendo o Critério de Incomodidade um critério baseado no diferencial entre os níveis sonoros com as Fontes de ruído em avaliação em funcionamento (Ruído Ambiente) e os níveis sonoros do local sem essas Fontes em funcionamento (Ruído Residual) verifica-se ser incoerente a definição de mês mais crítico, na medida em que, como está definido, pode não corresponder ao mês em que ocorre maiores diferenciais, pois a magnitude desse diferencial não depende só de uma maior emissão sonora das Fontes, mas também de um menor Ruído Residual. Por exemplo, no caso de Parques Eólicos, a maior emissão sonora dos Parques ocorre, normalmente, quando existe maior regime de vento e é nessa altura que existe também, normalmente um maior Ruído Residual, pelo que não é garantido que o mês mais crítico, em termos do diferencial entre o Ruído Ambiente e o Ruído Residual, seja o mês com maior emissão sonora dos Aerogeradores.

#### **4.1.16.3. Protecção não proporcional**

O facto do Artigo 13.º estabelecer, no seu n.º 5, um limite de 27 dB(A) no interior e de 45 dB(A) no exterior, para ser aplicável o Critério de Incomodidade, faz com que possam ocorrer as seguintes singularidades incoerentes, onde maiores diferenciais cumprem a legislação e menores diferenciais não cumprem (utiliza-se como exemplo o limite de 3 dB de diferencial no período nocturno).

**Quadro 28: Inconsistências do Critério de Incomodidade.**

Ruído Particular	Ruído Residual	Ruído Ambiente (RA)	Diferencial $\Delta$	Cumprimento
45	25	45	20	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
45	35	45	10	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
45	36	46	9	Não Cumpre pois $\Delta > 3$ e RA ultrapassa 45
45	44	48	4	Não Cumpre pois $\Delta > 3$ e RA ultrapassa 45
44	35	45	10	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
44	40	45	5	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
44	41	46	5	Não Cumpre pois $\Delta > 3$ e RA ultrapassa 45
44	43	47	4	Não Cumpre pois $\Delta > 3$ e RA ultrapassa 45
43	34	44	10	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
43	41	45	4	Apesar de $\Delta > 3$ cumpre pois o RA não ultrapassa 45
43	42	46	4	Não Cumpre pois $\Delta > 3$ e RA ultrapassa 45

RA: Ruído Ambiente.

Julga-se que deve ser eliminada a limitação da aplicação do critério de incomodidade a valores superiores a 27 dB(A), no interior, e a 45 dB(A) no exterior, não só para que sejam sanadas as inconsistências apresentadas no Quadro 28, mas sobretudo porque os desenvolvimentos internacionais mais recentes, nomeadamente o Guia [69] (ver final do capítulo 3.1.8) apontam para a possibilidade de ocorrência de efeitos biológicos para valores de ruído exterior a partir de 30 dB(A).

Também o facto de o Anexo I da Legislação [10] estabelecer a adição de uma constante  $D$  aos valores limite do Critério de Incomodidade em função da fracção entre a duração acumulada (independentemente da interpretação que possa ser dada; ver capítulo 4.1.16.1) do Ruído Particular e a duração do período de referência em causa, faz com que possam ocorrer também alguns casos singulares incoerentes, por exemplo:

1. Uma actividade cujo período de laboração seja 20h-3h, terá de cumprir, na interpretação de duração acumulada para todos os períodos (7h de duração), um limite de emergência sonora de 3 dB entre as 23h e as 3h, enquanto uma actividade cujo período de laboração seja 23h-3h poderá atingir um limite de 5 dB de emergência sonora entre as 23h e as 3h. Na interpretação de duração acumulada em cada período esta inconsistência já não acontece;
2. Uma actividade cujo período de laboração seja, por exemplo 7h-24h, terá de cumprir, na interpretação de duração acumulada em cada período, um limite de 4 dB entre as 20h e as 23h,

mas entre as 23h e as 24h poderá atingir um limite de  $3+3=6$  dB, o que é incoerente. Na interpretação de duração acumulada para todos os períodos esta inconsistência já não acontece;

3. Uma actividade que labore no período nocturno e encerre às 8h da manhã, poderá, na interpretação de duração acumulada em cada período, atingir um limite de 9 dB entre as 7h e as 8h, enquanto uma actividade que comece a laborar apenas às 7h e prolongue a sua actividade até depois das 17h, terá de cumprir, no período 7h-8h, e durante o resto do período diurno em que laborar, um limite mais exigente de 5 dB. Na interpretação de duração acumulada para todos os períodos esta inconsistência pode acontecer também, ainda que com menor grau:

- diferencial, no período 7h-8h, de  $5+3=8$  dB, se o horário de funcionamento for, hipoteticamente, 5h-8h;
- diferencial, no período 7h-8h, de  $5+2=7$  dB, se o horário de funcionamento for, hipoteticamente, 2h-8h;
- diferencial, no período 7h-8h, de  $5+1=6$  dB, se o horário de funcionamento for, hipoteticamente, 23h-8h.

A perspectiva de consideração da limitação do critério de incomodidade em função do período de actividade, para os Receptores com sensibilidade ao ruído que não habitações, e não em função dos períodos de referência, elimina as inconsistências referidas.

A manutenção, para habitações, de limites diferentes, para os 3 períodos de referência, e a ponderação temporal própria do  $L_{eq}$  em função da duração das actividades, faz com que possam ocorrer igualmente as inconsistências referidas, contudo é muito difícil eliminar todas as inconsistências, pelo que se julga que a hipótese de definição, por parte de organismo oficial, conforme referido no capítulo 4.1.16.1, de qual o Ruído Particular, e/ou Ruído Residual a considerar, na coexistência de actividades, possa minimizar suficientemente esta questão.

#### **4.1.17. Indefinição na relação das incertezas com a limitação**

Em consonância com os novos desenvolvimentos das normas [5,6], que estabelece forma de determinação das incertezas de medição de Ruído Ambiente, e também em consonância com o estabelecido na pág. 23/148 do documento [56], que estabelece que deverão ser conhecidas as incertezas dos métodos de previsão, será importante esclarecer se os valores limite estabelecidos na

legislação, nomeadamente para infra-estruturas de transporte, por exemplo  $L_{den} \leq 65$  dB(A), permitem um resultado de previsão/medição tipo  $65 \pm 5$  dB(A), ou só permitem um resultado tipo  $60 \pm 5$  dB(A)

Também a este respeito, será importante rever a exigência estabelecida no final do capítulo 3.5 da referência [3] (Directrizes para elaboração de Mapas de Ruído): “*O cálculo pode ser aceite caso a diferença entre os valores calculados (retirados dos mapas de ruído elaborados) e os valores medidos não ultrapasse  $\pm 2$  dB(A)*”.

A necessidade da revisão referida prende-se com os desvios padrão previstos para os novos Métodos Europeus Harmonizados, estabelecidos no final do capítulo 2.2.2 do documento [123]:

1. até 1 dB para distâncias até 100 m entre a Fonte e o Receptor;
2. até 2 dB para distâncias até 2000 m entre a Fonte e o Receptor, em terreno plano;
3. até 5 dB para distâncias até 2000 m entre a Fonte e o Receptor, em terreno não plano;
4. até 5 dB em zona urbana.

De referir ainda que a definição de um valor de incerteza aceitável, poderia ser útil inclusive no estabelecimento de regras mais claras relativamente ao esforço de previsão e medição necessário, sendo que deverá ser obrigatório que todas as previsões e medições explicitem, justificando, a incerteza associada. Contudo, devido ao facto do método de determinação de incertezas da NP ISO 1996 aplicar-se apenas a valores de  $L_{eq}$  para curtos períodos, não se afigura adequado estabelecer, pelo menos para já, um valor de incerteza aceitável, em critérios oficiais, enquanto não for obtida mais informação.

#### **4.1.18. Indefinição de limites para Ruído de Vizinhança**

O artigo 24.º da Legislação [10], estabelece que compete, de alguma forma, às autoridades policiais decidir se existe ou não incomodidade devida ao Ruído de Vizinhança, sem definição de um limite objectivo, o que obviamente acarreta alguma subjectividade não desejável para a arbitragem destes conflitos.

Não se vislumbra razão para que o Ruído de Vizinhança, sobretudo de equipamentos, como sejam sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, não seja também obrigado a cumprir o Critério de Incomodidade, sendo que, inclusive, está estabelecido o seguinte no Artigo 21.º (outras Fontes de

ruído) do DL 9/2007: “As fontes de ruído susceptíveis de causar incomodidade estão sujeitas ao cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11.º, bem como ao disposto na alínea b) do n.º 1 e no n.º 5 do artigo 13.º...”.

Ver também capítulo 4.2.10, pois trata-se também, e sobretudo, de um problema de Ruído Ambiente Interior.

#### **4.1.19. Limites só em termos de valores médios**

Conforme indicado no capítulo 3.1.7, as limitações efectuadas exclusivamente em termos de valores médios, como ocorre na legislação Portuguesa, podem ser significativamente desfavoráveis em situações em que a distribuição dos níveis sonoros não seja regular, pelo que é recomendável a efectivação de limites também em termos de valor máximo, sobretudo para o caso das limitações em termos de média anual, em que o maior período em causa permite maiores picos sem grande influência no valor médio. Contudo, a limitação em termos de valores máximos deve ser devidamente cuidada, caso contrário pode comprometer-se a viabilidade de operação das actividades ruidosas. Nestas circunstâncias afigurou-se adequado analisar quais os valores máximos considerados nos modelos provisórios, para tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, de forma a orientar uma possível limitação em termos de valores máximos, conforme sugerido no capítulo 5.1.2.

#### **4.1.20. Limites independentes do tipo de Fonte**

Conforme indicado no capítulo 3.1.7, e na Tabela A.1 da norma [5], existem evidências que os limites legais devem ser mais exigentes para ruído de tráfego rodoviário do que para tráfego ferroviário e ainda mais exigentes para ruído de tráfego aéreo, o que não é tido em conta na legislação Portuguesa (de acordo com o capítulo 3.1.7, já é tido em conta, desde 2008, na legislação da Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Holanda, Hungria, Irlanda, Roménia e Suécia).

#### **4.1.21. Regra de Boa Prática não vinculativa**

O facto da Regra de Boa Prática (RBP) estabelecida na Nota Técnica [38] não constar na legislação de Ruído Ambiente [10] faz com que a mesma não possua força de lei e não tenha obrigatoriamente de ser cumprida, o que pode criar algumas dificuldades aos Projectistas de Acústica que se podem ver, por um lado, com uma RBP que a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) recomenda/exige que se

utilize, e por outro, com a possibilidade de uma pretensão legítima dos proponentes de infra-estruturas de transporte de não consideração dessa regra, por não ser vinculativa.

De salientar contudo, apesar de existirem algumas inconsistências relativamente ao facto da RBP ter como base o ruído da Situação Actual ou o ruído da Situação de Referência (ver capítulo 4.1.23), para que a RBP seja tornada força de lei é importante que seja considerado como base o Ruído Residual ou a Situação Actual (talvez haja alguma vantagem em denominar por Situação Antecedente, como é sugerido na referência [47], ou por Situação Inicial, ou Som Inicial, como aparece na norma [5], dada a “desactualização” constante do termo Actual), para que a mesma seja directamente mensurável, pois a Situação de Referência, tratando-se de um cenário que não existirá com a concretização do projecto, não é mensurável directamente. Deverá inclusive definir-se forma de caracterizar o Ruído Residual, quando não é viável “calar” o ruído da infra-estrutura, e/ou definir um prazo máximo de validade e aplicabilidade, como Ruído Residual, da caracterização da Situação Actual (Antecedente ou Inicial), relativamente (antes e depois) ao início da fase de exploração.

#### **4.1.22. Indefinição de critérios objectivos de análise para Ruído de Baixa Frequência**

De acordo com o estabelecido no Anexo C da norma [5], existem evidências de serem necessários critérios de limitação diferentes para Ruído de Baixa Frequência (por exemplo, de acordo com a secção 6.6 da norma [6]: helicópteros, som de vibração de pontes, metropolitano subterrâneo, instalações de estampagem, equipamento pneumático de construção). Acrescenta-se à lista anterior, os Parques Eólicos, pois apesar de alguns trabalhos [124,125] apontarem para a inexistência de Ruído de Baixa Frequência associado aos Parques Eólicos, continuam a existir algumas dúvidas na comunidade científica como é possível de constatar no documento [126] e na referência/site [e10]. No capítulo 5.1.2.3 acrescentam-se mais Fontes de ruído à lista.

Nestas circunstâncias, julga-se poder ser prematuro estabelecer limites legais associados ao Ruído de Baixa Frequência, sendo talvez recomendável uma Regra de Boa Prática a estabelecer em Nota Técnica da Agência Portuguesa do Ambiente, ou similar, que, obviamente, possuirá o defeito de não ser um critério vinculativo mas que possuirá também a virtude de poder desencadear um processo de obtenção de mais informação sobre esta problemática para que, eventualmente, no futuro, se possa equacionar com maior propriedade a passagem dessa Regra de Boa Prática a força de lei. No capítulo 5.1.3.1 descreve-se a regra actualmente vigente na Grã-Bretanha e tecem-se algumas considerações e

propostas associadas, no sentido de estabelecimento de um Regra de Boa Prática em Portugal.

#### **4.1.23. Indefinição de critérios objectivos de qualificação de impactes**

O n.º 5 do anexo III da Legislação de Impacte Ambiental, com a actual redacção [127], contém o seguinte texto: "*Descrição e hierarquização dos impactes ambientais significativos (efeitos directos e indirectos, secundários e cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos) decorrentes do projecto e das alternativas estudadas ...*"

A parte "*Identificação e avaliação de impactes*" do Anexo IV contém o seguinte texto: "*Descrição qualitativa dos impactes esperados, quer positivos quer negativos, nas fases de construção, exploração e desactivação. Indicação da natureza (directo, indirecto, secundário, temporário e permanente), magnitude, extensão (geográfica e população afectada) e significado (muito ou pouco significativos).*"

No n.º 3 do Anexo V consta o seguinte texto: "*Características do impacte potencial...: Extensão do impacte (área geográfica e dimensão da população afectada); Natureza transfronteiriça do impacte; Magnitude e complexidade do impacte; Probabilidade do impacte; Duração, frequência e reversibilidade do impacte.*"

Seria assim conveniente existirem definições objectivas para distinção, em Ruído Ambiente Exterior, das qualificações legais (pelo menos da principais) referidas.

A única referência que consta na Nota Técnica [38] relativamente a estas classificações é a seguinte, onde RBP significa Regra de Boa Prática: "*A verificação da existência, ou não, de um impacte decorrente de um projecto obtém-se pela comparação entre: i) os valores resultantes e os valores limite legais; ii) os valores resultantes e os valores da situação de referência. Considera-se que há impacte negativo significativo quando: 1) Actividades ruidosas permanentes: 1.1) os valores resultantes não verifiquem, pelo menos, um dos critérios legais constantes do RGR; 2) Infra-estruturas de transporte: 2.1) os valores resultantes não verifiquem o critério de exposição máxima constante do RGR, ou 2.2) os valores resultantes não verifiquem a RBP*".

Verifica-se assim uma pequena inconsistência, na medida em que a legislação pede para distinguir, em termos de significado, impactes muito significativos e pouco significativos, e a Nota Técnica indica as Situações em que o Impacte é Negativo Significativo (julga-se que se pode entender, à luz da

legislação, como Impacte Negativo Muito Significativo).

Relativamente à Magnitude do Impacte, na ausência de definição na Nota Técnica, poderá verificar-se o constante na página 71 e 72 do documento [39] (estes critérios são designados neste trabalho por Critérios IST): “A magnitude dos impactes no ambiente sonoro resultará, assim, num primeiro momento, da comparação dos níveis sonoros resultantes com os valores objectivo estipulados para cada tipo específico de zona. Admite-se, no entanto, que haja necessidade de apreciar o impacte causado no ambiente sonoro por determinada infra-estrutura de transporte em função do aumento esperado dos níveis sonoros já existentes (aumento cumulativo), em especial nos casos em que os valores previstos são inferiores aos valores fixados. Os níveis sonoros previstos para o ruído ambiente resultam da adição da energia sonora do ruído ambiente existente, ou residual, com a energia sonora gerada pela actividade prevista, ou ruído particular. Obtém-se, assim, uma quantidade ( $\Delta L$ ), correspondente à diferença entre o valor cumulativo futuro e o valor do indicador na situação de referência, ou seja, o aumento de ruído previsto devido à infra-estrutura de transporte em apreciação. Esta diferença ( $\Delta L$ ) entre ruído futuro e actual, bem como o desvio daquele em relação aos valores objectivo estipulados, determina a quantificação da magnitude do impacte no ambiente sonoro”.

Apresenta-se na Figura 26 a proposta de classificação da Magnitude do Impacte constante nos Critérios [39], tendo por base a sua Tabela 9 e a sua Figura 20.

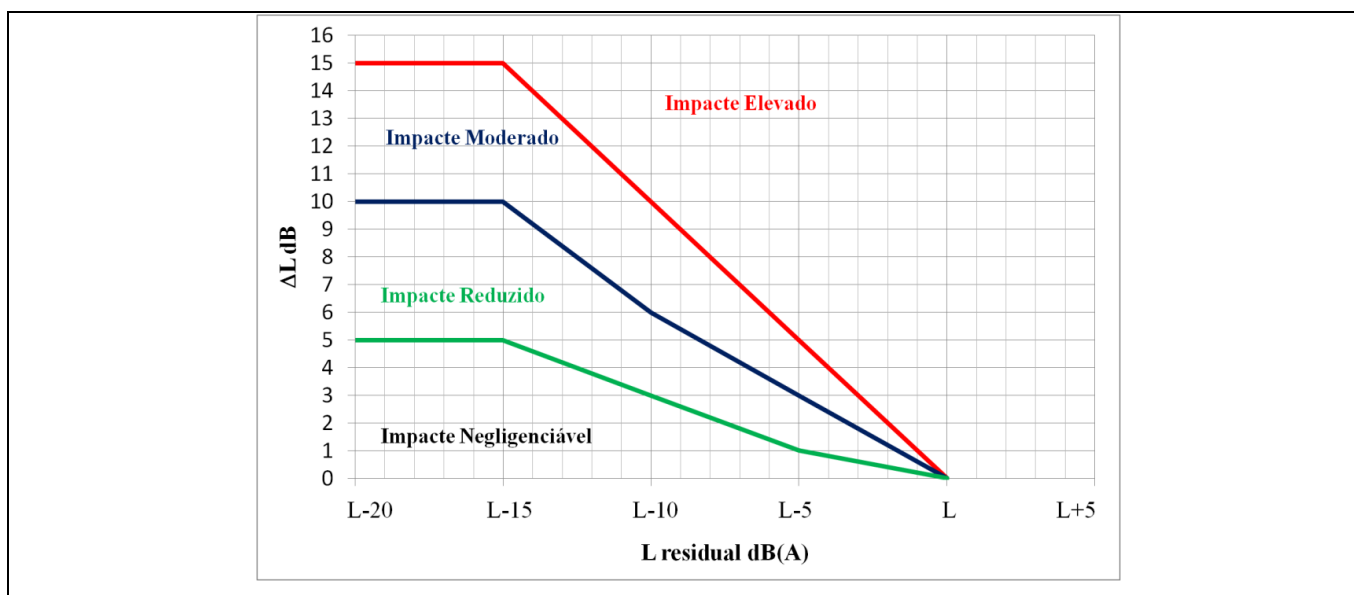


Figura 26: Classificação da Magnitude do Impacte (Critérios IST)

Pesem embora algumas fragilidades que serão referidas em seguida, trata-se efectivamente de uma evolução positiva no sentido da desejável objectivação dos critérios de avaliação de impacte, para minimizar a possibilidade de diferentes tipos de análise e, conseqüentemente, a possibilidade de diferentes tipos de impacte para o mesmo projecto.

Chama-se a atenção para as seguintes inconsistências e fragilidades do método:

1. Na transcrição anterior dos Critérios IST é referido, para obtenção de  $\Delta L$ , a Situação de Referência, assim como o Ruído Actual. Considera-se ser de alertar que Situação de Referência não é equivalente a Situação Actual (Ruído Actual ou Existente), conforme é possível de observar na definição de Situação de Referência constante na Nota Técnica [38]: *“Por fim, deve ser efectuada uma previsão devidamente fundamentada da evolução da situação existente, na ausência do projecto, quer no que respeita a futuras fontes de ruído quer a receptores sensíveis, que constituirá a “situação de referência”. Essa previsão basear-se-á, tanto quanto possível, em planos/projectos já aprovados”*.
2. O facto de poder ocorrer uma magnitude de impacte igual para diferenciais menores, quando o Ruído Residual é maior, contraria o estabelecido na secção D.3.4 da norma [5]: *“...As pesquisas têm demonstrado que, em zonas rurais calmas, há uma maior expectativa e uma maior valoração da “tranquilidade e sossego”. Nestas zonas, esta expectativa pode ser equivalente a valores até 10 dB”*.
3. No caso de  $\Delta L=0$  e do Ruído Residual =  $L$ , tem-se uma indeterminação (coincidência de Impacte Elevado, Moderado, Reduzido e Negligenciável). No caso de  $\Delta L=0$  e do Ruído Residual  $> L$ , não é claro se se mantém a indeterminação ou se tem Impacte Elevado. Talvez fosse preferível, para evitar estas indeterminações (inclusive em sintonia com o estabelecido na pág. 79 dos Critérios [39]: *“De facto, se já se verificar antes uma elevada exposição ao ruído, a magnitude do impacte devido a uma nova infra-estrutura de transporte pode ser numericamente pequena mas nesta situação, o impacte cumulativo no ambiente sonoro poderá ser de uma significância elevada”*), que a classificação de Magnitude de Impacte fosse apenas efectuada em função do diferencial, e que os critérios estabelecidos na Figura 26 fossem relativos a Significância, ou Significado (ver capítulo 5.1.3.3).
4. Por exemplo, para Ruído Residual =  $L-12$ , qual o valor de  $\Delta L$  que limita o Impacte Moderado/Impacte Reduzido? Utilizando apenas a curva que limita Impacte

Moderado/Impacte Elevado para separação de Impacte Muito Significativo e Impacte Pouco Significativo, esta dúvida desaparece (ver capítulo 5.1.3.3).

5. Os Critérios [39] preconizam a análise da magnitude do impacte para o período diurno, do entardecer e nocturno, o que faz todo o sentido, dada a típica variação da sensibilidade humana ao longo do dia, contudo, numa perspectiva de simplificação, dado que pode ser mais útil para uma melhor percepção geral dos impactes (incluindo os outros descritores, para além do ruído) haver uma “menor quantidade” de impactes a distinguir na componente ruído, talvez faça sentido que a análise da magnitude dos impactes, e da Significância, ou Significado, se centralize apenas num período, num parâmetro e num tipo de classificação, pese embora a necessidade de definição da necessidade de medidas distinguindo as variáveis legais (período, parâmetro e tipo de classificação do Receptor).
6. Relativamente ao parâmetro a utilizar, pelo menos para outras actividades que não infra-estruturas de transporte, talvez seja preferível a utilização do parâmetro Nível de Avaliação, idealmente tendo em conta as correcções estabelecidas na nova versão da norma [5] (ver capítulo 5.1.3.3).

#### **4.1.24. Indefinição de critérios objectivos de análise comparativa de impactes**

Na alínea h) da secção V do Anexo II da Legislação [128], é estabelecido o seguinte: “*Para o conjunto das alternativas consideradas, deve ser efectuada uma análise comparativa dos impactes a elas associados*”.

Infelizmente não existe nenhum critério objectivo estabelecido oficialmente para a efectivação da Análise Comparativa, o que pode fazer com que em certos casos seja muito difícil decidir qual a melhor Alternativa ou, pior do que isso, dependendo do critério escolhido poder ser uma ou outra a melhor Alternativa.

No capítulo 5.1.3.4 é apresentada uma análise e uma proposta de quantificação da Análise Comparativa [129].

## 4.2. Ruído Ambiente Interior

### 4.2.1. Erros

Apresentam-se no Quadro 29 os erros detectados no sistema de previsão, medição, limitação e avaliação de Ruído Ambiente Interior.

**Quadro 29: Erros detectados no sistema de Ruído Ambiente Interior**

Método	Erro detectado
EN 12354-1: 2000 [72]	Pág. 48, Figura E.9, onde está: $K_{24} = 3,0 - 14,1M + 5,7M^2$ Devia estar: $K_{24} = 3,0 + 14,1M + 5,7M^2$
EN 12354-2: 2000 [73]	Nada a assinalar
EN 12354-3: 2000 [74]	Pág. 6, equação (5), onde está: $D_{2m,nT} - 10\log(0,32V)$ Devia estar: $D_{2m,nT} - 10\log(0,032V)$
EN 12354-6: 2003 [14]	Nada a assinalar
NP EN ISO 140-4: 2000 [78]	Nada a assinalar
NP EN ISO 140-5: 2009 [79]	Nada a assinalar
NP EN ISO 140-7: 2008 [80,81]	Pág. 14 onde está: ...uma velocidade no momento do impacto de 0,033 m/s Devia estar: ...uma velocidade no momento do impacto de 0,886 m/s
NP EN ISO 3382-2: 2011 [83]	Nada a assinalar
NP EN ISO 16032: 2009 [82]	Nada a assinalar
DL 96/2008 [18]	Pág. 3363, alínea b) do n.º 1 do Artigo 8.º, onde está: $D_{2m,nT,w}$ Devia estar: $D_{nT,w}$ Pág. 3363, alínea f) do n.º 1 do Artigo 8.º, onde está: <i>quadro VI</i> Devia estar: <i>quadro V</i> Pág. 3369, alínea b) do n.º 1 do Artigo 8.º, onde está: $D_{2m,nT,w}$ Devia estar: $D_{nT,w}$ Pág. 3370, alínea f) do n.º 1 do Artigo 8.º, onde está: <i>quadro VI</i> Devia estar: <i>quadro V</i>
Critérios de Amostragem LNEC [23]	Nada a assinalar

### 4.2.2. Previsão do isolamento a sons de percussão de baixo para cima

A norma [73], não contempla forma de cálculo do isolamento a sons de percussão de baixo para cima, contudo trata-se de uma situação importante para a legislação Portuguesa [18] (e não só), na medida em que são maiores as exigências regulamentares para o isolamento entre espaços de comércio, indústria, serviços ou diversão e os fogos habitacionais, e estas situações configuram normalmente uma confrontação baixo/cima. Não se efectua nenhum desenvolvimento associado no presente trabalho, referindo-se apenas a metodologia preconizada nas páginas 196 e 197 do livro [16] e a referência [130].

### **4.2.3. Tempo de reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular**

Sendo de utilização generalizada a fórmula de Sabine [15,16], para a previsão do Tempo de Reverberação, e não sendo a mesma adequada para a previsão do Tempo de Reverberação para espaços com Absorção Sonoro irregular, conforme evidenciado no capítulo 3.2.1.2, e uma vez que a metodologia, mais adequada (mais conservativa), constante no Anexo D da norma [14], está incluída num anexo “informativo”, considera-se relevante haver outras formas de esclarecimento e incentivo à utilização dessa metodologia, em prol de previsões não subvalorizadas do Tempo de Reverberação.

### **4.2.4. Uso de Fonte omnidireccional nas medições de isolamento sonoro de fachada**

A norma [79] não é clara no seu capítulo “4.2 Altifalante”, relativamente à possibilidade teórica de utilização de uma Fonte sonora omnidireccional nas medições de isolamento sonoro de fachada. Apenas é dito o seguinte no capítulo 4.2 da norma [79]: “*A direccionalidade do altifalante, em campo livre, deve ser tal que as diferenças locais do nível de pressão sonora em cada banda de frequência de interesse sejam inferiores a 5 dB, com as medições efectuadas sobre uma superfície imaginária que possua a mesma dimensão e orientação do provete de ensaio*”.

Assumindo que as “diferenças locais do nível de pressão sonora” se reportam a qualquer diferença de níveis de pressão sonora em qualquer posição do provete de ensaio “imaginário”, será necessário garantir que a diferença entre a posição com maior nível de pressão sonora (provavelmente a mais próxima da Fonte sonora) e a posição com menor nível de pressão sonora (provavelmente a mais afastada da Fonte sonora) é menor do que 5 dB (em cada Banda de frequência de interesse. É possível demonstrar facilmente que, teoricamente, o campo gerado por uma Fonte omnidireccional cumpre este requisito, tendo em conta a localização e distâncias mínimas estabelecidas nos capítulos 5.2 e 5.4 da norma [79].

Assim, na prática, será possível a utilização de uma Fonte Dodecaédrica omnidireccional típica, desde que demonstrado por ensaios o cumprimento dos requisitos do capítulo 4.2 da norma [79], ainda que não seja absolutamente claro qual o procedimento a seguir, nomeadamente se é possível efectuar a medição em Campo Livre sobre Plano reflector, de forma semelhante ao estabelecido na norma [33].

#### **4.2.5. Ambiguidade do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão**

É estabelecido o seguinte na secção 5.6 da norma [80]: *“É necessário certificar que o ruído aéreo emitido pela máquina de percussão e transmitido para o compartimento receptor não influencia o nível de pressão sonora estabelecido nesse compartimento devido à acção de percussão”*.

Contudo não está estabelecido, nesta norma, qual a forma de aferir essa não influência. Ainda que o capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26], indique método para verificação da influência do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão, não é explicitada forma de correcção do Isolamento a Sons de Percussão, caso haja influência do Ruído Aéreo, pelo que não é claro se a metodologia indicada é apenas majorativa, e o conceito de Ruído Aéreo se aplica apenas ao ruído directamente emitido pela Máquina de Percussão, em conformidade com o explicitado no capítulo 3.2.2 e com a metodologia desenvolvida no capítulo 6.2.6.

#### **4.2.6. Indefinição da limitação do Tempo de Reverberação próprio da Fonte de impulso**

É estabelecido o seguinte na secção 5.3.2 da norma [83]: *“A resposta impulsiva pode ser medida directamente usando uma Fonte de impulso, como um tiro de pistola ou outra qualquer fonte que não seja ela própria reverberante e que possua um espectro suficientemente largo ...”*.

Contudo não está estabelecida qual a forma de aferir e limitar essa reverberação própria.

#### **4.2.7. Indefinição no cálculo do Nível de Avaliação Padronizado**

De acordo com a alínea e) do Artigo 2.º (Definições) da Legislação [18], tem-se que o Nível de Avaliação Padronizado,  $L_{Ar,nT}$ , deve ser corrigido em função das condições de reverberação do compartimento Receptor.

No capítulo 3 dos Critérios [23] tem-se: *“Devem ser utilizadas as versões mais recentes das normas a seguir indicadas, ou partes dessas normas, aplicáveis a cada situação em avaliação: ...EN ISO 16032: Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – Engineering method.”*

Assim, verifica-se que, de acordo com a norma [82], o método de ensaio (capítulo 5 da norma) preconiza o seguinte: *“Os resultados obtidos, por bandas de oitava, são corrigidos do ruído de fundo e, se necessário, padronizados para um tempo de reverberação de 0,5 s, ou normalizados para uma área de absorção sonora equivalente de 10 m<sup>2</sup>. Por último, a partir dos resultados corrigidos, por*

*bandas de oitava, são calculados os níveis de pressão sonora ponderados A, e C”.*

Ou seja, a correção do Tempo de Reverberação deve ser efectuada em cada Banda de oitava (de 31,5/63 Hz a 8000 Hz, de acordo com a norma [82]) e o nível global deve ser obtido só após essa correção. Contudo, os Critérios [23] estabelecem o seguinte na sua Nota 4 do capítulo 4, o que dá a entender que o Nível Global é para calcular primeiro e a correção do Tempo de Reverberação é para aplicar depois, considerando o valor médio do Tempo de Reverberação para as Bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz (ver capítulo 5.2.3): “A metodologia para caracterização do nível de avaliação, padronizado, de equipamentos, preconiza: i) a determinação do nível sonoro global ponderado A, no local de recepção, de acordo com o especificado na norma EN ISO 16032 (se aplicável); ii) a identificação da existência (ou não) de componentes tonais a partir da descrição espectral, média, dos níveis de pressão sonora, expressa em dB(A) e por bandas de terços de oitava (vd. Anexo I, do Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 09/2007, de 17 de Janeiro); e iii) a determinação do tempo de reverberação médio, considerando as bandas de frequências com a largura de uma oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000Hz e 2000 Hz”.

#### **4.2.8. Não referência à Área de Absorção Sonora Equivalente**

Os Critérios [23] explicitam os parâmetros regulamentares aplicáveis na Avaliação Acústica preconizada na Legislação [131], contudo não é explicitado o parâmetro Área de Absorção Sonora Equivalente, o qual possui limites estabelecidos nas alíneas e) do Artigo 7.º e do Artigo 8º da Legislação [18], pelo que a sua não explicitação pode levar à sua não caracterização (ver capítulo 5.2.3).

De referir também que no Artigo 2.º (Definições) da Legislação [18] não se encontra o parâmetro Área de Absorção Sonora Equivalente (ver capítulo 5.2.2).

#### **4.2.9. Ambiguidade no conceito de Zona de Estar**

O Artigo 5.º da Legislação [18] estabelece como locais Receptores a proteger, nas sua alíneas a), b, c), d), e), g) e h): *quartos e zonas de estar*.

Uma vez que é dúbio o conceito de zona de estar, na medida em que a cozinha e a casa de banho são também, em sentido lato, zonas de estar, não é clara a intenção do legislador, de consideração, ou não, das cozinhas e casas de banho como espaços Receptores a proteger (ver capítulo 5.2.2).

De referir que a legislação Francesa estabelece valores de isolamento específicos para Cozinhas e Casas de Banho ([84]; Artigo 2), 3 dB menos exigentes do que para as *Peças Principais* (Quartos e Salas) e a legislação Espanhola (página 2 da referência/site [e7]) estabelece valores de isolamento relativamente a todo o fogo habitacional, independentemente do tipo de compartimento dentro do fogo, e estabelece até requisitos de isolamento para as divisórias interiores do fogo, o que não acontece na legislação Portuguesa [18].

#### **4.2.10. Indefinição de limites para Ruído de Vizinhança**

Na medida em que o n.º 7 do Artigo 5.º da Legislação [18] remete para o Artigo 24.º da Legislação [10], aplica-se aqui o que foi dito no capítulo 4.1.18, acrescentando o facto de poderem ser aplicados limites específicos para o Ruído Particular dos equipamentos de carácter privativo, como acontece no DL 96/2008 para o ruído de funcionamento dos equipamentos colectivos (ver capítulo 5.2.2) [de notar que na legislação Francesa ([84]; Artigo 6) existem limites específicos para equipamentos de carácter privativo (individuais), iguais aos limites para equipamentos colectivos do edifício].

#### **4.2.11. Aplicação ambígua do Critério de Incomodidade**

Uma vez que a Legislação [10], estabelece que o Critério de Incomodidade (alínea b) do n.º 1 do Artigo 13.º) é para cumprir também no interior dos edifícios, julga-se que deveria existir nota específica no Regulamento [10], relativamente à necessidade de cumprimento desse critério, pois assim subsistem dúvidas relativamente à necessidade da sua consideração, quer no Projecto Acústico de Edifícios, quer na Avaliação Acústica a realizar no âmbito de Pedidos de Autorização de utilização e alteração de utilização (15.º da Legislação [131]), sendo que inclusive os Critérios [23] não efectuem qualquer referência à necessidade de contemplação do Critério de Incomodidade na Avaliação Acústica (ver capítulos 5.2.2 e 5.2.3).

#### **4.2.12. Requisito dúbio de isolamento Sonoro de fachada para escritórios**

Uma vez que a alínea a) do n.º 1 do Artigo 6.º da Legislação [18], estabelece o seguinte: “*O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m, nT, w}$ , entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os locais tipificados no quadro I do anexo ao presente Regulamento, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte: i)  $D_{2m, nT, w} \geq 30$  dB, para os escritórios; ii)  $D_{2m, nT, w} \geq 25$  dB, para os restantes recintos*”, e uma vez que os locais tipificados no Quadro I são os seguintes:

“Refeitórios ou recintos públicos de restauração e Escritórios ( $V \geq 100 \text{ m}^3$ )”, fica-se na dúvida se o isolamento de fachada aplica-se a qualquer escritório ou apenas a escritórios com  $V \geq 100 \text{ m}^3$  (onde  $V$  é o volume interior do escritório) (ver capítulo 5.2.2).

#### **4.2.13. Inexistência de Requisito de isolamento Sonoro de fachada para refeitórios em escolas e hospitais**

Uma vez que a alínea a) do n.º 1 do Artigo 7.º da Legislação [18], estabelece o seguinte: “*O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m, nT, w}$ , entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os compartimentos interiores identificados no quadro II do anexo ao presente Regulamento, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte...*”.

E uma vez que os locais identificados no Quadro II, como locais Receptores, são os seguintes: “*Salas de aula (Incluindo salas de aula musical), de professores, administrativas, Bibliotecas e gabinetes médicos, Salas polivalentes e berçários*”, verifica-se que não constam nesta lista os Refeitórios, os quais constam como locais Emissores. Considera-se assim tratar-se de uma inconsistência, na medida em que no Artigo 6.º (edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais) são estabelecidos requisitos de isolamento sonoro de fachada para Refeitórios.

Igual inconsistência ocorre na alínea a) do n.º 1 do Artigo 8.º da Legislação [18], que se reporta aos locais Receptores do Quadro V, quadro esse onde os Refeitórios constam apenas na lista de locais Emissores (ver capítulo 5.2.2).

#### **4.2.14. Pouca protecção dos berçários**

As recomendações da Organização Mundial de Saúde [111] explicitam requisitos mais exigentes para o ruído interior em berçários, creches e infantários [ $L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB(A)}$ ;  $L_{FAmax} \leq 45 \text{ dB(A)}$ ] do que para salas de aula [ $L_{Aeq} \leq 35 \text{ dB(A)}$ ], pelo que são incoerentes, com este princípio, os limites menos exigentes para Berçários, do que para salas de aula, estabelecidos no Quadro II da Legislação [18].

Nesta perspectiva também é incoerente a maior protecção dada a bibliotecas do que a berçários, no Quadro IV da Legislação [18] (ver capítulo 5.2.2).

#### **4.2.15. DL 129/2002 e DL 96/2008**

A manutenção, no geral, dos mesmos valores limite na nova legislação de Ruído Ambiente Interior

[18], relativamente à anterior legislação [17], “apenas” com alteração dos parâmetros Normalizados para Padronizados, significa na realidade modificação das exigências legais (ver capítulo 3.2.3), pelo que poderá ser importante aferir a pertinência da recuperação das exigências anteriores.

### **4.3. Vibração Ambiente**

#### **4.3.1. Inexistência de método internacional normalizado de previsão da vibração**

A norma [58], indica no seu prefácio que estão em desenvolvimento as seguintes partes: “*Part 2: Prediction models; Part 3: Measurement; Part 4: Evaluation criteria; Part 5: Mitigation; Part 6: Asset management*”.

Presentemente apenas se encontra publicada a Parte 1, Guia Geral. Assim, não existe publicada, como acontece para o Ruído Ambiente Exterior [28], e para o Ruído Ambiente Interior [14,72-75], tanto quanto se sabe, nenhuma norma ISO ou EN de previsão da Vibração Ambiente, o que faz com que possam ser diversos, e não oficiais, pelo menos em Portugal, os métodos de previsão actualmente utilizados em diferentes estudos.

No capítulo 6.3.3, é apresentado um método de previsão da vibração, tendo por base medições [97].

#### **4.3.2. Inexistência de regime metrológico legal específico para Vibrómetros**

Tanto quanto se conhece, não existe um regime metrológico legal em Portugal associado directamente a Vibrómetros, como existe por exemplo para Sonómetros [132], o que faz com que, sobretudo por razões económicas, seja menos incidente o recurso a verificações periódicas [anuais, bianuais (de 2 em 2 anos)] dos sistemas de medição de vibração, ainda que existam em Portugal Laboratórios de Verificação Metrológica de transdutores de vibração, e também menos incidente o uso de calibradores para aferição do sistema antes e após um conjunto de medições, ainda que a evolução normal do sistema nacional de acreditação de laboratórios aponte, cada vez mais, para a necessidade de verificação e calibração de todos os equipamentos que são utilizados.

#### **4.3.3. Indefinição do parâmetro e frequências de análise**

Conforme explicitado no capítulo 3.3.2, os Critérios [20] explicitam tratar-se da velocidade eficaz de

vibração (componente horizontal ou vertical mais significativa), mas não explicitam o tempo associado à determinação do valor eficaz. Entende-se tratar-se do valor máximo da variação do valor eficaz de segundo a segundo durante a ocorrência do evento (tipicamente passagem das composições ferroviárias) (ver capítulo 5.3.2).

Relativamente às frequências de análise, no que concerne quer aos danos nos edifícios quer à incomodidade humana devido à vibração propriamente dita, os Critérios [20] são omissos (assim como os Critérios [21]).

De acordo com a norma [58], as gamas de análise deverão ser (ver capítulo 5.3.2):

- Danos em Edifícios: 1 Hz a 500 Hz;
- Incomodidade humana devida à vibração propriamente dita: 1 Hz a 80 Hz;
- Incomodidade humana devida ao ruído estrutural no interior de edifícios: 16 Hz a 250 Hz (no caso de medições de vibração para determinação das transmissões marginais associadas a isolamentos sonoros, a gama é pelo menos 100 Hz a 3150 Hz);
- Interferência no funcionamento de equipamentos sensíveis: 1 Hz a 200 Hz.

#### **4.3.4. Indefinição de limites para monumentos e edifícios sensíveis**

Conforme explicitado no capítulo 3.3.2, os Critérios [20] indicam que o limite de Danos em Edifícios não se aplica a monumentos e edifícios sensíveis.

Comparando o valor limite de  $v_{ef} < 3,5$  mm/s estabelecido nos Critérios [20], verifica-se que ele é semelhante ao valor limite de  $v_{ef} < 3$  mm/s estabelecido nos Critérios [21] para edifícios reforçados. No caso de Edifícios extremamente susceptíveis, os Critérios [21] estabelecem  $v_{ef} < 0,8$  mm/s.

Comparando o valor limite de  $v_{ef} < 0,11$  mm/s estabelecido nos Critérios [20], para a Inexistência de incomodidade humana devida à vibração propriamente dita, verifica-se que ele é semelhante ao valor limite de  $v_{ef} < 0,101$  mm/s estabelecido nos Critérios [21] para habitações e edifícios onde as pessoas usualmente dormem, no caso de mais de 70 eventos por dia, e para Auditórios e Teatros, no caso de mais de 70 eventos por dia. De notar que, por exemplo, no caso de salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação, os Critérios [21] estabelecem o seguinte limite mais exigente:  $v_{ef} < 0,045$  mm/s. Nestas circunstâncias afigura-se necessário complementar os Critérios [20], conforme consta no capítulo 5.3.2.

## **5. Sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos**

### **5.1. Ruído Ambiente Exterior**

#### **5.1.1. Previsão e medição**

##### **5.1.1.1. Sugestões gerais**

Em termos de previsão e medição de Ruído Ambiente Exterior, apresentam-se as seguintes sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos, tendo em conta os erros, inconsistências e indefinições identificados nos capítulos 4.1.1 a 4.1.10.

#### 1. Previsão:

- Estabelecimento, em documento oficial:
  - Da necessidade de obtenção de dados de base mais pormenorizados e mais próximos da realidade em prol de uma modelação mais rigorosa e normalmente menos sobrevalorizada (capítulo 4.1.2), nomeadamente probabilidades de ocorrência de condições favoráveis de propagação sonora (capítulo 3.1.1 e 4.1.2), Espectros de emissão sonora (capítulo 3.1.2, 4.1.2 e 4.1.4) e Velocidades Contínuas Equivalentes de circulação (capítulo 3.1.3 e 4.1.2), podendo, no casos das velocidades, recorrer-se à metodologia inovadora exposta no capítulo 6.2.4 para a sua determinação, com atribuição “automática” a cada tipo de veículo;
  - Do esclarecimento do conceito de Som Incidente e de Ponto de Avaliação, aplicável às previsões e às medições (capítulo 3.1.4.2);
  - Da necessidade de determinação da Área de Permissão Acústica de Fontes Pontuais e da Área de Influência Acústica dos projectos, em fase tão antecedente quanto possível (capítulo 4.1.2), através de utilização de métodos expeditos eficazes, como sejam os métodos originais desenvolvidos e expressos nos capítulos 6.1.2 e 6.1.3;
  - Da necessidade de previsão das características tonais no caso de Actividades Ruidosas Permanentes [10] (capítulo 4.1.5), tendo por base novos métodos de previsão [56] ou métodos alternativos como seja o método exposto no capítulo 6.1.5;

- Da necessidade de contabilização nas previsões do ruído das juntas de dilatação (capítulo 4.1.6), tendo em conta novos desenvolvimentos sobre o assunto, em particular o estabelecido no capítulo 6.2.2.
- Correção da probabilidade majorativa de ocorrência meteorológica para o período diurno da República Portuguesa apresentado no documento [3] e introdução da probabilidade majorativa de ocorrência meteorológica para o período diurno da Região Autónoma dos Açores, conforme expresso nos capítulos 3.1.1.1 e 4.1.3.

## 2. Medição:

- Estabelecimento, em documento oficial:
  - Do esclarecimento do conceito de Som Incidente e de Ponto de Avaliação, aplicável às medições e às previsões (capítulo 3.1.4.2);
  - Da necessidade de caracterização especial *in situ* do ruído das juntas de dilatação, no caso da proximidade de Receptores Sensíveis, tendo em conta novos desenvolvimentos sobre o assunto, em particular o estabelecido no capítulo 6.2.2;
  - Da necessidade de incentivo à utilização de sistemas de monitorização contínua, mesmo de Classe 2, ou de medições com duração/incidência mais prolongada, para uma caracterização mais rigorosa dos níveis sonoros, tendo em conta o estabelecido no capítulo 3.1.6, e a possibilidade de Monitorização Relacional tendo em conta novos desenvolvimentos sobre o assunto, em particular o estabelecido no capítulo 6.3.2;
  - De metodologias específicas de monitorização tendo em conta, no caso concreto de Ferrovias, o desenvolvido no capítulo 6.2.5.
- Correção nas normas [5,6] dos erros explicitados no capítulo 4.1.1;
- Introdução na norma [11] do facto da eficácia da mesma Barreira Acústica poder variar ao longo do dia e da necessidade de determinação das condições representativas, conforme explicitado nos capítulos 3.1.5 e 4.1.7.
- Introdução na norma [24] de metodologia de objectivação das ocorrências a desprezar (capítulo 4.1.8), conforme desenvolvido no capítulo 6.2.3.

- Introdução de desvio padrão típico para tráfego ferroviário na norma [6] (capítulo 4.1.9), e complementação da seguinte frase da norma [6] (capítulo “6.3.1 Medição de  $L_{eq}$ ” da norma): “*Cada categoria de comboios com potencial contribuição significativa para o valor global de  $L_{eq}$  deve ser representada com um mínimo de 5 passagens*”, no sentido de explicitar que para o cálculo da incerteza será importante caracterizar também eventuais categorias de comboios que não contribuam significativamente para o valor global de  $L_{eq}$  mas que contribuam significativamente para o cálculo da incerteza, conforme se evidencia no capítulo 6.2.5.

### **5.1.1.2. Desenvolvimentos particulares**

Resultam assim os seguintes desenvolvimentos particulares, que se expõem no capítulo 6, de previsão em Ruído Ambiente Exterior:

- 6.1.2 Método de determinação das Áreas de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais;
- 6.1.3 Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior;
- 6.1.4 Método de previsão expedita para Vibração Ambiente;
- 6.1.5 Método alternativo de previsão de características tonais;
- 6.1.6 Aplicações informáticas: 6.1.6.1 Previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior;
- 6.3 Previsão relacionando medições: 6.3.2 Ruído Ambiente Exterior.

e de Medição em Ruído Ambiente Exterior:

- 6.2.2 Juntas de dilatação;
- 6.2.3 Método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos;
- 6.2.4 Velocímetro e contador de tráfego sonoros;
- 6.2.5 Método de monitorização do ruído de tráfego ferroviário;
- 6.3 Previsão relacionando medições: 6.3.2 Ruído Ambiente Exterior.

## **5.1.2. Limitação**

### **5.1.2.1. Introdução**

Apresentam-se em seguida sugestões de alteração do Regulamento Geral do Ruído (RGR) [10], datado de 2007 (capítulo 5.1.2.2) e de introdução de Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência (capítulo 5.1.2.3).

As sugestões de alteração do RGR [10], visam, no essencial, a clarificação de conceitos julgados importantes e que podem condicionar a avaliação objectiva do cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais por parte de determinada situação, a uniformização dos requisitos com os conhecimentos científicos internacionais consolidados mais recentes, designadamente as novas normas [5,6], e com os limites legais existentes na Europa e com as perspectivas de evolução conhecidas.

A sugestão de Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência prende-se com os desenvolvimentos internacionais que têm ocorrido sobre esta matéria, que evidenciam a sua relevância e que conduziram ao surgimento deste “novo conceito” na forma de “Anexo informativo” no Anexo C da norma [5]. Existem inclusive países que já definiram critérios específicos para o Ruído de Baixa Frequência, nomeadamente a Alemanha, a Suécia, a Dinamarca, a Holanda, a Polónia e o Reino Unido. No caso do Reino Unido os critérios são relativamente recentes (2005) e são de acesso livre [13], razão pela qual estão na base da Sugestão de Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência que se apresenta.

### **5.1.2.2. Alteração do DL 9/2007**

Face ao exposto nos capítulos 4.1.12 a 4.1.21, sugerem-se assim as seguintes alterações e clarificações indicativas ao Regulamento Geral do Ruído (RGR) [10]:

1. Definição de Ruído Ambiente: alterar a definição de Ruído Ambiente do RGR para a definição de Ruído Ambiente da Legislação [12].
2. Distinguir diferentes Espaços de Lazer: Introduzir definição de:
  - Espaço de Lazer com Pouca Tranquilidade: tipo zonas de diversão com algum ruído;
  - Espaço de Lazer com Tranquilidade: tipo zonas de descanso, passeio e/ou cultura desejavelmente sem ruído.

3. Som Incidente e Ponto de Avaliação: Clarificação da aplicação dos valores limite a Som Incidente e indicação da distância do Ponto de Avaliação à fachada dos edifícios (de acordo com a referência [56] 0,1 m da fachada). Clarificação de quais as superfícies reflectoras a considerar [julga-se que devem ser todas as superfícies, e apenas na localização do Ponto de Avaliação sobre/junto à fachada deve ser desprezada a reflexão nessa mesma fachada (som incidente)].
4. Limites diferentes para diferentes sensibilidades: os limites para  $L_{den}$  e  $L_n$  devem aplicar-se apenas aos usos tipo habitacional. Para outros usos (escolas, hospitais ou similares e espaços de lazer), o limite deve ser para o período de actividade, e em função do tipo de sensibilidade e não do período de referência. Para zonas com sensibilidade ao ruído em escolas, e similares (creches e infantários), em Zona Mista, o limite base (ver Quadro 30) deverá ser sempre 55 dB(A) durante o período de actividade, tenha a Escola só actividade sensível (aulas, berçário e recreio de alunos) no período diurno ou também no período do entardecer e nocturno. Igual raciocínio se aplica a Hospitais e similares, preconizando-se igualmente um limite base de 55 dB(A) para Zona Mista. Uma vez que as recomendações da Organização Mundial de Saúde de 1999 [111] estabelecem um valor limite de 45 dB(A) para o exterior de zonas de dormir, incluindo berçários em infantários e em enfermarias/quartos em Hospitais (o que pode ser cumprido no RGR [10] apenas no período nocturno para Zonas Sensíveis), e estudos mais recentes [69] apontam até como limite de Ruído Ambiente Exterior, na fachada de quartos, um valor de 40 dB(A), deverá ser permitido/exigido, onde possível de classificar como Zona Sensível, sobretudo para novas Escolas, Hospitais e Similares, também um cumprimento de 45 dB(A). Para os Espaços de Lazer em Zona Mista, preconizam-se os seguintes limites base: Espaços de Lazer Pouco Tranquilos: 65 dB(A) no período de actividade (dia, entardecer e/ou nocturno); Espaços de Lazer Tranquilos: 55 dB(A) no período de actividade (dia, entardecer e/ou nocturno). Para os Espaços de Lazer em Zona Sensível, preconizam-se os seguintes limites base: Espaços de Lazer Pouco Tranquilos: 55 dB(A) no período de actividade (dia, entardecer e/ou nocturno); Espaços de Lazer Tranquilos: 45 dB(A) no período de actividade (dia, entardecer e/ou nocturno).
5. Limitação também em termos de valor máximo e não só em termos de valores médios energéticos: tendo por base os limites da Dinamarca e Suécia (ver capítulo 3.1.7) esse valor máximo, no exterior, deve estar entre 70 e 80 dB(A). De acordo com a Organização Mundial de Saúde, esse valor máximo, para berçários em creches e infantários (ruído exterior) deve ser

- 60 dB(A) (ver Quadro 30 relativamente ao valor máximo e forma sugerida, tendo por base os resultados do capítulo 4.1.19). Sugere-se também uma limitação em termos de valor máximo para o ruído interior (assume-se a possibilidade de um isolamento sonoro de fachada de cerca de 35 dB, em conformidade com a legislação Sueca, o que minimizará a maior “permissividade” associada à clarificação do Critério de Incomodidade e abandono da correcção *D*; ver capítulo 4.1.16.1).
6. Esclarecer a relação da incerteza das medições e das previsões com os limites: sugere-se que se acrescente um texto que esclareça que os limites expressos em termos de  $L_{den}$ ,  $L_{noite}$  e  $L_{PeriodoActividade}$  aplicam-se ao melhor valor da medição ou da previsão (Valor Convencional, de acordo com o VIM [133], e tipicamente o valor médio de várias medições), desde que se demonstre que a determinação, medição ou previsão, está de acordo com as melhores práticas. Para os valores máximos e para o Critério de incomodidade os valores limite deverão também ser aplicados ao melhor valor da medição ou previsão. Em qualquer caso deve ser sempre expressa e justificada a incerteza associada às previsões e/ou às medições, de acordo com a informação mais recente disponível. Conforme referido no capítulo 4.1.17, afigura-se prematuro o estabelecimento de um valor de incerteza de referência.
  7. Ponderação da maior sensibilidade das habitações ao fim de semana: Para tornar a legislação Portuguesa coerente com as correcções patentes na Tabela A.1 da NP ISO 1996-1: 2011, sugere-se que no cálculo dos valores médios anuais, para Habitações, ocorra uma correcção de +5 dB nos valores dos níveis sonoros no período diurno de fins-de-semana e feriados.
  8. Limitação diferenciada para diferentes tipos de Fontes: Para tornar a legislação Portuguesa coerente com os desenvolvimentos internacionais e com as perspectivas de limitação da Comissão Europeia, é necessário efectuar distinção entre os limites para Tráfego Ferroviário, Rodoviário, Aéreo e Indústrias. Sugerem-se assim as alterações esquemáticas ao Artigo 11.º, que se apresentam no Quadro 30, onde já se têm em conta as sugestões anteriores associadas (de referir, mais uma vez, que no cálculo dos valores médios anuais, em habitações, deve ocorrer uma correcção de +5 dB nos valores dos níveis sonoros no período diurno de fins-de-semana e feriados).

**Quadro 30: Resumo das sugestões de alteração dos Artigos 11.º e 13.º do DL 9/2007**

Tipo de Limite	Tipo de Classificação /Situação	Tipo de Fonte	Limites [dB(A)]		
			Hab.	Esc., Hosp. e Lazer Tranq.	Lazer Pouco Tranq.
TL1	TC1	TF1	$L_{den} \leq 65$ $L_n \leq 55$ $L_{Max,Noite} \leq 80$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 45$	$L_{PeriodoActividade} \leq 55$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 80$ $L_{Max,PeriodoActividade (interior)} \leq 45$	$L_{PeriodoActividade} \leq 65$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 90$
TL1	TC1	TF2	$L_{den} \leq 70$ $L_n \leq 60$ $L_{Max,Noite} \leq 85$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 50$	$L_{PeriodoActividade} \leq 60$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 85$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 50$	$L_{PeriodoActividade} \leq 70$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 95$
TL1	TC1	TF3	$L_{den} \leq 60$ $L_n \leq 50$ $L_{Max,Noite} \leq 75$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 50$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 75$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 60$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 85$
TL1	TC2	TF1	$L_{den} \leq 60$ $L_n \leq 50$ $L_{Max,Noite} \leq 75$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 50$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 75$ $L_{Max,PeriodoActividade (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 60$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 85$
TL1	TC2	TF2	$L_{den} \leq 65$ $L_n \leq 55$ $L_{Max,Noite} \leq 88$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 45$	$L_{PeriodoActividade} \leq 55$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 80$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 45$	$L_{PeriodoActividade} \leq 65$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 90$
TL1	TC2	TF3	$L_{den} \leq 55$ $L_n \leq 45$ $L_{Max,Noite} \leq 70$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 35$	$L_{PeriodoActividade} \leq 45$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 70$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 35$	$L_{PeriodoActividade} \leq 55$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 80$
TL1	TC3	TF1	$L_{den} \leq 55$ $L_n \leq 45$ $L_{Max,Noite} \leq 70$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 35$	$L_{PeriodoActividade} \leq 45$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 70$ $L_{Max,PeriodoActividade (interior)} \leq 35$	$L_{PeriodoActividade} \leq 55$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 80$
TL1	TC3	TF2	$L_{den} \leq 60$ $L_n \leq 50$ $L_{Max,Noite} \leq 75$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 50$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 75$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 40$	$L_{PeriodoActividade} \leq 60$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 85$
TL1	TC3	TF3	$L_{den} \leq 50$ $L_n \leq 40$ $L_{Max,Noite} \leq 65$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 30$	$L_{PeriodoActividade} \leq 40$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 65$ $L_{Max,Noite (interior)} \leq 30$	$L_{PeriodoActividade} \leq 50$ $L_{Max,PeriodoActividade} \leq 75$
TL2	-	TF4	$L_{Ar}(RA)-L_{Ar}(RR) \leq$ 07h-20h: 5 20h-23h: 4 23h-07h: 3	$L_{Ar}(RA)-L_{Ar}(RR) \leq$ Período de Actividade Sensível: 3	-
TL2	-	TF5	$L_{Ar}(den)(RA)-L_{Ar}(den)(RR) \leq 15$	$L_{Ar}(RA)-L_{Ar}(RR) \leq$ Período de Actividade Sensível: 15	-

TL1: Artigo 11.º (Valor Absoluto); TL2: Artigo 13.º (Critério de Incomodidade); TC1: Zonas Mistas e Zonas Sensíveis afectadas por GIT existente; TC2: Zonas Sensíveis afectadas por GIT planeada; TC3: Zonas Sensíveis não afectadas por GIT; TF1: Tráfego rodoviário, Indústrias (Actividades Ruidosas Permanentes, incluindo equipamentos particulares) e tráfego ferroviário com tracção diesel ou de alta velocidade (>250 km/h); TF2: tráfego ferroviário com tracção eléctrica e velocidade menor ou igual a 250 km/h; TF3: Tráfego aéreo; TF4: Actividade Ruidosa Permanente incluindo equipamentos particulares, que não infra-estrutura de transporte; TF5: Infra-estruturas de transporte; RA: Ruído Ambiente; RR: Ruído Residual.

Notas: No cálculo dos valores médios, em habitações, deve ocorrer uma correcção de +5 dB nos valores dos níveis sonoros no período diurno de fins-de-semana e feriados. No caso de sobreposição de Fontes de diferentes tipos, aplica-se ao Ruído Ambiente global os limites mais elevados aplicáveis a esse caso. Excepcionalmente poderão ocorrer valores máximos superiores aos referidos, desde que se demonstre a inviabilidade técnica deste cumprimento e se procure pelo menos o cumprimento dos valores máximos interiores referidos.

9. Clarificação do Critério de Incomodidade: conforme explicitado nos capítulos 4.1.16, 4.1.16.1, 4.1.16.2 e 4.1.16.3, afigura-se necessário:

- Eliminar a limitação imposta no n.º 5 do Artigo 13.º da Legislação [10], pois os

desenvolvimentos mais recentes (ver capítulo 3.1.8) apontam para a possibilidade de ocorrência de incomodidade, e mesmo de efeitos biológicos, para valores muito reduzidos e inferiores aos limites expostos no .º 5 do Artigo 13.º da Legislação [10], o que elimina assim as inconsistências referidas no Quadro 28.

- Corrigir a definição do mês mais crítico, constante no n.º 4 do Anexo I da Legislação [10]: em vez de “... *devendo corresponder ao mês mais crítico do ano em termos de emissão sonora da(s) fonte(s) de ruído em avaliação ...*” deverá ser “... *devendo corresponder ao mês mais crítico do ano em termos de diferencial entre o Ruído Ambiente, que integra o Ruído Particular da(s) fonte(s) de ruído em avaliação, e o Ruído Residual ...*”.
- Eliminação da correcção *D* constante no n.º 2 e 3 do Anexo I da Legislação [10] e esclarecer que, para Habitações, o Ruído Ambiente que integra o Ruído Particular é calculado para a totalidade, e separadamente, do período diurno, do período do entardecer e do período nocturno, assim como o Ruído Residual (se não existir Ruído Particular num dado período de referência o Ruído Ambiente vai ser igual ao Ruído Residual logo o diferencial é nulo). Para Habitações, o diferencial entre o Ruído Ambiente, que integra o Ruído Particular, e o Ruído Residual, não deve ser superior a: 5 dB, para a totalidade do período diurno, 4 dB, para a totalidade do período do entardecer, e 3 dB, para a totalidade do período nocturno. Em caso de dúvida de qual o valor de Ruído Particular e/ou de Ruído Residual a considerar, em caso de coexistência de actividades ruidosas, competirá a um organismo oficial (Câmara Municipal ou Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional, conforme indicado no n.º 6 do Artigo 13.º da legislação [10]), estabelecer, fundamentadamente e de acordo com a vocação dos locais, quais os valores a considerar/calcular. No caso de Escolas, e similares, Hospitais e similares, e Espaços de Lazer com Tranquilidade (excluem-se os Espaços de Lazer com Pouca Tranquilidade da necessidade de cumprimento do Critério de Incomodidade), o Ruído Ambiente que integra o Ruído Particular, e o Ruído Residual, são calculados para a totalidade do período de actividade sensível dos Receptores em causa, e o diferencial entre o Ruído Ambiente, que integra o Ruído Particular, e o Ruído Residual, não deve ser superior a 3 dB (poderá equacionar-se um diferencial menos exigente mas, sobretudo para Berçários, conforme referido no

capítulo 4.1.15, será importante a existência de exigências pelo menos semelhantes às de quartos de dormir em habitações).

- Correção de características impulsivas e de características tonais em conformidade com a nova norma (apenas se refere as características tonais e impulsivas, pois as outras características constantes na Tabela A.1 da NP ISO 1996-1:2 2011, já estão contempladas nas sugestões de limitação/avaliação aqui apresentadas).
- Manutenção da aplicação do Critério de Incomodidade “clássico”, conforme descrito anteriormente, apenas para Actividades Ruidosas que não Infra-estruturas de transporte. Para infra-estruturas de Transporte o Critério de incomodidade deverá ser baseado na regra de Boa Prática da Agência Portuguesa do Ambiente, ou seja, para todos os Receptores Sensíveis referidos [Habitações, Escolas, e similares, Hospitais e similares, e Espaços de Lazer com Tranquilidade (excluem-se os Espaços de Lazer com Pouca Tranquilidade)], o diferencial entre o Ruído Ambiente, que integra o Ruído Particular, e o Ruído Residual [julga-se ser de manter aqui o seguinte princípio já constante em [10] (Artigo 13.º n.º6), eventualmente corrigido no sentido de atribuição/partilha da competência à Câmara Municipal e/ou de tendência para consideração do Ruído Inicial (ver capítulo 4.1.16): *Em caso de manifesta impossibilidade técnica de cessar a actividade em avaliação, a metodologia de determinação do ruído residual é apreciada caso a caso pela respectiva comissão de coordenação e desenvolvimento regional, tendo em conta directrizes emitidas pelo Instituto do Ambiente*], não deve ser superior a 15 dB, considerando a totalidade do dia para habitações e o parâmetro  $L_{den}$ , e para os outros Receptores Sensíveis o parâmetro é o  $L_{eq}$  para a totalidade do período de actividade sensível do Receptor.
- Apresenta-se no Quadro 30 o resumo da sugestão dos limites associados ao Critério de Incomodidade.

10. Limite objectivo para actividades ruidosas temporárias no período diurno: o n.º 5 do Artigo 15.º deverá ser revisto no sentido de incluir um limite também para o período diurno, na pior das hipóteses um valor global de 65 dB(A) ou, idealmente, um valor de 65 dB(A) na proximidade de habitações e de 55 dB(A) na proximidade de escolas ou hospitais, e similares [neste caso no período do entardecer o limite deve ser 60 dB(A) na proximidade de habitações e 55 dB(A) na proximidade de escolas ou hospitais, e similares].

11. Limites objectivos para Ruído de Vizinhança: Para os equipamentos de uso individual, tipo ar-condicionado, deverá aplicar-se também o Critério de incomodidade “clássico”, nas condições referidas anteriormente.

### **5.1.2.3. Regra de Boa Prática para Ruído de Baixa Frequência**

Face ao expostos nos capítulos 3.1.10 e 4.1.22, sugere-se que em todos os Projectos em que se suspeite da possibilidade de existência de Ruído de Baixa Frequência, esteja sempre prevista, em fase de Avaliação de Impacte Ambiental [127], a monitorização pelo menos do Receptor Sensível mais exposto, nomeadamente para as seguintes actividades ruidosas:

1. Segundo o Ponto 6.6 da norma [6]:
  - Heliportos (ruído dos helicópteros);
  - Pontes (ruído da vibração da ponte);
  - Metropolitano subterrâneo;
  - Instalações de estampagem;
  - Equipamento pneumático de construção.
2. Segundo o Quadro 18, em que, para o Espectro tipo (Source dB [e1,e2]), valores globais menores do que 45 dB(A) implicam ultrapassagem da curva de referência do Quadro 17: Actividades que empreguem os seguintes tipos de Fontes (na Figura 27 apresentam-se as imagens respectivas, constantes na base de dados Source dB):
  - Carregadores de Rodas;
  - Camiões com reboque com arrefecimento eléctrico;
  - Monta-cargas eléctrico 5 ton.;
  - Navios 5000 a 10000 ton.;
  - Navios 10000 a 20000 ton.;
  - Compressores Recíprocos;
  - Compressor (tipo: Roots; velocidade: 1000 rpm) (sem imagem na base de dados Source dB);

- Moto-serras (sem imagem na base de dados Source dB);
- Chama de combustão (Flar) (sem imagem na base de dados Source dB);
- Aerogeradores (sem imagem na base de dados Source dB);
- Helicópteros;
- Camiões a baixa velocidade.

A monitorização deverá ser efectuada da seguinte forma (acrescem aos procedimentos seguintes os usuais associados à necessidade de verificação do cumprimento dos requisitos legais, ou outros, se aplicáveis):

1. Medição do Som Incidente no Ponto de Avaliação (ver capítulo 4.1.14 e capítulo 5.1.2) junto ao Receptor Sensível, por Bandas de 1/3 de Oitava sem ponderação em frequência, desde a Banda de frequência mais baixa possível (idealmente desde 5 Hz) e até aos 160Hz.
2. Se o Receptor integrar um edifício, com ocupação humana com potencial de incomodidade, deverá der efectuada uma medição do valor máximo dos valores eficazes de segundo a segundo, da velocidade de vibração na base da edificação, por Bandas de 1/3 de oitava entre 5Hz e 16Hz e entre 16Hz e 250Hz, sem ponderação em frequência.



**Figura 27: Imagens de algumas das Fontes com Ruído de Baixa Frequência (Source dB)**

As medições deverão ser efectuadas, na medida do possível, com e sem o funcionamento da actividade ruidosa em causa, e os resultados obtidos deverão ser analisados em 2 perspectivas:

1. Comparação, nas Bandas de frequência referidas, dos valores com e sem a actividade para determinação da emergência do Ruído de Baixa Frequência, e da vibração, associados à actividade;
2. Comparação dos valores de ruído (Som Incidente) com os valores estabelecidos no Quadro 17 e comparação do valor global da velocidade de vibração, para a gama 16Hz-250Hz, com os limites de ruído estrutural estabelecidos no capítulo 5.3.2.

Se existir uma marcada emergência do Ruído de Baixa Frequência e/ou da vibração associados à actividade, será conveniente a efectivação de auscultação da sensibilidade dos ocupantes do edifício, em conformidade com a norma [134].

Se a auscultação, ou uma eventual existência de reclamações, apontarem para a existência de incomodidade/desconforto, reforçada pelos valores obtidos nas medições no exterior, deverá ser equacionada a realização de medições de ruído e vibração no interior do compartimento onde é experimentada a incomodidade/desconforto relativamente ao Ruído de Baixa Frequência, devendo ser seguidas, para o ruído, as especificações da norma [6], em especial o ponto 8.3.2, e para a vibração as especificações da norma [58], em especial os pontos 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5.

Se a auscultação não revelar incomodidade/desconforto relativamente ao Ruído de Baixa Frequência, mas as medições no exterior revelarem essa possibilidade, deverá ser equacionada a necessidade de repetição das medições e da auscultação, num período julgado adequado e suficiente para fazer face à eventual possibilidade de adaptação da população e mudança de opinião.

Se os indicadores específicos da monitorização, conjugados com eventuais desenvolvimentos científicos nesta matéria, apontarem para a não existência de incomodidade/desconforto associado ao Ruído de Baixa Frequência, deverá equacionar-se a desnecessidade de novas medições e de nova auscultação da população.

### **5.1.3. Avaliação**

#### **5.1.3.1. Introdução**

Apresenta-se sugestão de alteração dos Critérios de Representatividade IPAC (capítulo 5.1.3.2), em conformidade com o estabelecido nos capítulos 3.1.6 e 4.1.11, que visa no essencial estabelecer

diferentes esforços de medição em função do tipo de medição, e o incentivo à determinação da incerteza de medição, o que não ocorre actualmente nas referências institucionais disponíveis. Apresenta-se ainda sugestão de objectivação da qualificação de impactes (capítulo 5.1.3.3) e da análise comparativa de Alternativas (capítulo 5.1.3.4), que visam no essencial estabelecer critérios quantitativos normalizados que permitam uniformizar as análises de impacte, em termos de Ruído Ambiente Exterior, na medida em que, presentemente, não existindo esses critérios normalizados, o mesmo projecto pode ter diferentes qualificações de impacte e as mesmas Alternativas podem ter diferentes análises comparativas.

No que concerne especificamente à quantificação da análise comparativa, trata-se de uma análise original de raiz, pois não se encontrou qualquer referência que aborde este tema julgado relevante. Conforme explicitado no desenvolvimento (capítulo 5.1.3.4) e na referência [129], a definição de um Factor de Comparação que permita uma sobreposição e ponderação adequada dos parâmetros relevantes é muito importante para que seja mais fácil, mais eficaz e mais isento, efectuar comparações de Alternativas em termos de Ruído Ambiente Exterior. Considera-se que o Factor de Comparação definido cumpre satisfatoriamente esse desiderato.

### **5.1.3.2. Alteração dos Critérios de Representatividade IPAC**

Julga-se que os Critérios [22] devem incentivar à obtenção de informação da variabilidade dos níveis sonoros, e/ou das variáveis associadas, à monitorização quase-contínua, para todo o período que se pretende representar, com abertura para a utilização de sistemas de medição de Classe 2, devendo ser distinguidos diferentes esforços de medição, por exemplo:

1. Monitorização: Necessidade de medição contínua, ou registo contínuo das variáveis com influência, durante pelo menos 75 % do período total (ver capítulo 3.1.6) que se quer representar, em pelo menos 1 ponto, excepto se com a informação disponível/obtida for possível demonstrar cabalmente o cumprimento dos limites legais.
2. Caracterização de Situações de Referência em Estudos de Impacte Ambiental: Possibilidade de utilização da metodologia actual dos Critérios [22], reforçando a necessidade de obtenção de informação, junto da população e das entidades, relativamente à variabilidade dos níveis sonoros ao longo do período que se pretende representar.

Julga-se que os Critérios [22] devem também incentivar à expressão da incerteza da medição, de acordo com as regras normalizadas aplicáveis, e à explicitação das variáveis com influência, as quais devem ser controladas durante as medições (ver capítulo 3.1.6.2):

1. Condições de emissão sonora da(s) Fonte(s) sonora(s) caracterizada(s) (por exemplo dados de tráfego).
2. Condições meteorológicas e do solo (por exemplo, velocidade do vento, nebulosidade, hora, dia e mês da medição, tipo de solo entre a Fonte e ponto de medição).
3. Ruído Residual.
4. Outros factores (por exemplo, presença de obstáculos eventualmente não permanentes, e característica de Absorção Sonora dos edifícios com efeito de reflexão).

### **5.1.3.3. Quantificação da qualificação de impactes**

Conforme indicado no capítulo 4.1.23, será importante objectivar os seguintes conceitos de Impacte:

1. Positivo e Negativo;
2. Natureza (Directo, Indirecto, Secundário, Cumulativo, Temporário e Permanente);
3. Extensão;
4. Probabilidade;
5. Magnitude;
6. Reversibilidade;
7. Significado.

Começa-se por analisar a definição de Impacte Ambiental constante na alínea j) do Artigo 2.º da Legislação [127]: “conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projecto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projecto não viesse a ter lugar”.

Assim afigura-se adequado considerar:

1. Impacte Positivo: quando as alterações previstas para o Ambiente Sonoro são favoráveis;
2. Impacte Negativo: quando as alterações previstas para o Ambiente Sonoro são desfavoráveis.

Tendo em conta o estabelecido nas normas [5,6], a melhor forma de comparação de Ambientes Sonoros corresponde à utilização do parâmetro Nível de Avaliação ( $L_{Ar}$ ), tendo em conta as correcções, características e métodos estabelecidos nas normas [5,6]. Denominando por Ruído Resultante o ambiente sonoro resultante da realização do projecto e por Ruído de Referência o ambiente sonoro “*que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projecto não viesse a ter lugar*” [127], sugere-se a seguinte objectivação, onde se introduz o conceito óbvio e necessário de Impacte Nulo, ainda que não expresso legalmente:

1. Impacte é Positivo:

$$L_{Ar}(\text{Ruído Resultante}) < L_{Ar}(\text{Ruído Referência})$$

2. Impacte Nulo:

$$L_{Ar}(\text{Ruído Resultante}) = L_{Ar}(\text{Ruído Referência})$$

3. Impacte é Negativo:

$$L_{Ar}(\text{Ruído Resultante}) > L_{Ar}(\text{Ruído Referência})$$

De notar que para as infra-estruturas de transporte não é normalmente necessário efectuar correcções, para obtenção do  $L_{Ar}$ , em termos de características tonais e impulsivas, mas poderá e deverá ser feita a correcção em função dos valores específicos no período diurno ao fim-de-semana (ver NP ISO 1996 e capítulo 3.1.4), e dia-entardecer-noite para dias úteis, pelo que se sugere que o parâmetro comparativo seja um único ( $L_{den}$ ) (com as correcções dia-entardecer-noite típicas das habitações e definidas na legislação) e não uma comparação, que resultaria em maior número de resultados, diferente para dia, entardecer e noite. Para que seja claro que deverão ser aplicadas as outras correcções ao parâmetro, afigura-se adequado denominá-lo por  $L_{den,Ar}$ , ou seja para todo o tipo de infra-estruturas:

1. Impacte é Positivo:

$$L_{den,Ar}(\text{Ruído Resultante}) < L_{den,Ar}(\text{Ruído Referência})$$

2. Impacte Nulo:

$$L_{den,Ar}(\text{Ruído Resultante}) = L_{den,Ar}(\text{Ruído Referência})$$

3. Impacte é Negativo:

$$L_{den,Ar}(\text{Ruído Resultante}) > L_{den,Ar}(\text{Ruído Referência})$$

Em termos de Natureza do Impacte, na falta de melhor definição, afigura-se adequado objectivar o

seguinte:

1. Impacte Directo: Sempre que o Impacte resulta directamente do ruído produzido pelo projecto.
2. Impacte Indirecto: Sempre que o Impacte resulta indirectamente do projecto, por exemplo, alteração de tráfego em vias existentes devido à implementação do projecto.
3. Impactes Secundários: Impactes resultantes de outros projectos.
4. Impactes Cumulativos: Impactes resultantes da sobreposição (adição energética dos níveis sonoros) do projecto em causa com outros projectos previstos conhecidos.
5. Impacte Temporário e Permanente: Ainda que em sentido lato, possa-se entender o impacte na componente ruído sempre como temporário, afigura-se adequado distinguir objectivamente o seguinte:
  - Fase de construção ou desactivação: Impacte Temporário;
  - Fase de exploração: Impacte Permanente.

Relativamente à Extensão do Impacte, julga-se que, na componente ruído, a mesma deva estar associada em primeiro lugar à definição da Área de Influência Acústica (ver capítulo 6.1.3). Dentro dessa área deverão ser definidos todos os Receptores relevantes, denominados por Receptores Potencialmente Afectados, sobre os quais deverá recair a análise de impactes, podendo assim ser verificada a extensão de todos os impactes, através da percentagem de Receptores que verifica, por exemplo, Impacte Muito Significativo, relativamente a todos os Receptores Potencialmente Afectados.

Relativamente à Probabilidade do Impacte, afigura-se que, na componente ruído, a mesma deva ser definida através da incerteza das previsões, a qual deverá ser devidamente fundamentada e justificada.

Relativamente à Magnitude do Impacte, afigura-se adequado adaptar o estabelecido nos Critérios [39], ou seja:

1. Impacte Negativo de Magnitude Negligenciável:

$$L_{den,Ar}(R. Referência) < L_{den,Ar}(R. Resultante) \leq L_{den,Ar}(R. Referência) + 5$$

2. Impacte Positivo de Magnitude Negligenciável:

$$L_{den,Ar}(R. Resultante) < L_{den,Ar}(R. Referência) \leq L_{den,Ar}(R. Resultante) + 5$$

3. Impacte Negativo de Magnitude Reduzida:

$$L_{den,Ar}(R. Referência) + 5 < L_{den,Ar}(R. Resultante) \leq L_{den,Ar}(R. Referência) + 10$$

4. Impacte Positivo de Magnitude Reduzida:

$$L_{den,Ar}(R. Resultante) + 5 < L_{den,Ar}(R. Referência) \leq L_{den,Ar}(R. Resultante) + 10$$

5. Impacte Negativo de Magnitude Moderada:

$$L_{den,Ar}(R. Referência) + 10 < L_{den,Ar}(R. Resultante) \leq L_{den,Ar}(R. Referência) + 15$$

6. Impacte Positivo de Magnitude Moderada:

$$L_{den,Ar}(R. Resultante) + 10 < L_{den,Ar}(R. Referência) \leq L_{den,Ar}(R. Resultante) + 15$$

7. Impacte Negativo de Magnitude Elevada:

$$L_{den,Ar}(R. Resultante) > L_{den,Ar}(R. Referência) + 15$$

8. Impacte Positivo de Magnitude Elevada:

$$L_{den,Ar}(R. Referência) > L_{den,Ar}(R. Resultante) + 15$$

Relativamente à Reversibilidade do Impacte, apesar de existirem evidências de efeitos biológicos irreversíveis devido à exposição a níveis de ruído não muito intensos [135] afigura-se adequado objectivar, na ausência de melhor informação e na perspectiva de evolução contínua e cientificamente fundamentada da legislação, que a ultrapassagem dos limites legais corresponderá sempre a Impactes Irreversíveis e a não ultrapassagem dos limites legais a Impactes Reversíveis. Igual abordagem julga-se que deverá ter o Significado do Impacte, ou seja, a ultrapassagem dos limites legais corresponderá sempre a Impactes Muito Significativo e a não ultrapassagem dos limites legais a Impactes Pouco Significativos.

Apresenta-se no Quadro 31 o resumo da objectivação da qualificação de impactes proposta.

**Quadro 31: Resumo da objectivação da qualificação de impactes para Ruído Ambiente Exterior**

Qualificação do Impacte		Objectivação
Impacte Nulo		$L_{den,Ar}(Res.) = L_{den,Ar}(Ref.)$
Impacte Negativo	Magnitude Negligenciável	$L_{den,Ar}(Ref.) < L_{den,Ar}(Res.) \leq L_{den,Ar}(Ref.) + 5$
	Magnitude Reduzida	$L_{den,Ar}(Ref.) + 5 < L_{den,Ar}(Res.) \leq L_{den,Ar}(Ref.) + 10$
	Magnitude Moderada	$L_{den,Ar}(Ref.) + 10 < L_{den,Ar}(Res.) \leq L_{den,Ar}(Ref.) + 15$
	Magnitude Elevada	$L_{den,Ar}(Res.) > L_{den,Ar}(Ref.) + 15$
Impacte Positivo	Magnitude Negligenciável	$L_{den,Ar}(Res.) < L_{den,Ar}(Ref.) \leq L_{den,Ar}(Res.) + 5$
	Magnitude Reduzida	$L_{den,Ar}(Res.) + 5 < L_{den,Ar}(Ref.) \leq L_{den,Ar}(Res.) + 10$
	Magnitude Moderada	$L_{den,Ar}(Res.) + 10 < L_{den,Ar}(Ref.) \leq L_{den,Ar}(Res.) + 15$
	Magnitude Elevada	$L_{den,Ar}(Ref.) > L_{den,Ar}(Res.) + 15$
Impacte Muito Significativo e Irreversível		Ultrapassagem dos limites legais
Impacte Pouco Significativo e Reversível		Não ultrapassagem dos limites legais
Impacte Directo		Sempre que o Impacte resulta directamente do ruído produzido pelo Projecto
Impacte Indirecto		Sempre que o Impacte resulta indirectamente do Projecto, por exemplo, alteração de tráfego em vias existentes devido à implementação do projecto.
Impacte Secundário		Impactes resultantes de outros projectos
Impacte Cumulativo		Impactes resultantes da sobreposição (soma energética dos níveis sonoros) do projecto em causa com outros projectos previstos conhecidos
Impacte Temporário		Impactes na Fase de construção ou desactivação
Impacte Permanente		Impactes na Fase de exploração
Extensão do Impacte		Porcentagem de Receptores com determinado impacte relativamente ao total de Receptores Potencialmente Afetados
Probabilidade do Impacte		Definida através da incerteza das previsões dos níveis sonoros a ser definida e justificada em cada caso

Res.: Ruído Resultante; Ref.: Ruído de Referência.

#### 5.1.3.4. Quantificação da análise comparativa

Na alínea h) da secção V do Anexo II da Legislação [128] está estabelecido: “*Para o conjunto das alternativas consideradas, deve ser efectuada uma análise comparativa dos impactes a elas associados*”.

Considera-se assim que a análise comparativa deve ser efectuada em função dos Impactes Ambientais de cada Alternativa, em especial em função das qualificações de impacte estabelecidas no capítulo anterior.

A selecção do parâmetro, ou dos parâmetros, que devem ser usados para comparação, corresponde ao primeiro desafio da definição de um critério objectivo e quantitativo de análise comparativa, que permita a análise comparativa mais isenta possível.

De acordo com o definido no capítulo anterior pode-se definir parâmetros associados às qualificações apresentadas, para a fase de construção, exploração ou desactivação:

1. Impactes Positivos, Impactes Nulos e Impactes Negativos;
2. Impactes Directos, Indirectos, Secundários, Cumulativos, Temporários e Permanentes;
3. Magnitude de Impacte (Negligenciável, Reduzida, Moderada e Elevada);
4. Extensão do Impacte;
5. Probabilidade do Impacte;
6. Reversibilidade do Impacte;
7. Significado (Pouco Significativo e Muito Significativo).

Para além dos parâmetros associados directamente às qualificações anteriores poderiam ainda definir-se outros parâmetros com algum potencial de interesse para a análise comparativa, na componente ruído, por exemplo: emissão sonora de cada Alternativa.

Dada a inviabilidade (ver desenvolvimentos seguintes) de incluir todos os parâmetros e ainda que se corra o risco de excluir algum parâmetro relevante, será importante efectuar uma selecção, que permita estabelecer de facto um critério de análise comparativa objectivo, quantitativo, viável e isento.

Sugere-se a utilização dos seguintes parâmetros:

1. Magnitude do Impacte,  $I$ ;
2. Níveis Dia-Entardecer-Noite de Avaliação, nos Receptores Potencialmente Afectados,  $L_{den,Ar}$ ;
3. Número de Receptores Potencialmente Afectados,  $N$ .

O segundo grande desafio da definição de um critério objectivo e quantitativo de análise comparativa, que permita a análise comparativa mais isenta possível, prende-se com a obtenção de valores representativos de cada Alternativa para cada parâmetro. Afigura-se adequado considerar como valor representativo de cada Alternativa:

1. O valor médio aritmético  $\langle I \rangle$  associado aos diferentes valores de  $I$  em cada Receptor Potencialmente Afectado, para cada Alternativa;
2. O valor médio aritmético  $\langle L_{den,Ar} \rangle$  associado aos diferentes valores de  $L_{den,Ar}$  em cada Receptor Potencialmente Afectado, para cada Alternativa;
3. O número de Receptores Potencialmente Afectados  $N$ , para cada Alternativa.

Relativamente ao uso da média aritmética e não da média energética, exemplifica-se em seguida a

razão de tal escolha.

Admita-se a existência de 4 Alternativas afectando cada uma delas dois Receptores,  $R_1$  e  $R_2$ , e sendo os respectivos valores de  $L_{den,Ar}$  os seguintes:

1. Alt. 1:  $L_{den,Ar}(R_1)=50$ ,  $L_{den,Ar}(R_2)=40$ ;
2. Alt. 2:  $L_{den,Ar}(R_1)=55$ ,  $L_{den,Ar}(R_2)=35$ ;
3. Alt. 3:  $L_{den,Ar}(R_1)=55$ ,  $L_{den,Ar}(R_2)=30$ ;
4. Alt. 4:  $L_{den,Ar}(R_1)=55$ ,  $L_{den,Ar}(R_2)=20$ .

Resultam as seguintes médias:

1. Alt. 1: média aritmética =45, média energética=47;
2. Alt. 2: média aritmética =45, média energética=52;
3. Alt. 3: média aritmética=43, média energética=52;
4. Alt. 4: média aritmética=38, média energética=52.

Daqui se conclui que para a média aritmética são equivalentes a Alternativa 1 e 2, o que se afigura adequado uma vez que, em média, a sensação do aumento/diminuição de 5dB é sensivelmente independente dos valores inicial e final. Para a média energética são equivalentes as Alternativas 2, 3 e 4, o que se afigura claramente inadequado.

Outro dos desafios importantes prende-se com a forma de sobreposição/ponderação dos diferentes parâmetros, ilustrando-se em seguida que a probabilidade da necessidade desta conjugação é directamente proporcional ao número de parâmetros que forem seleccionados, o que evidencia a necessidade de uma adequada, criteriosa e bem limitada escolha de parâmetros.

Como a comparação de diferentes Alternativas poderá ser sempre efectuada duas a duas, têm-se 27 casos possíveis de comparação, que se apresentam no Quadro 32, uma vez que se seleccionaram 3 parâmetros para análise (no caso da selecção de  $n$  parâmetros, o número de casos possíveis aumenta numa proporção de  $3^n$ ).

**Quadro 32: Casos possíveis de comparação para 3 parâmetros de análise**

Relação entre $\langle I_1 \rangle$ e $\langle I_2 \rangle$	Relação entre $\langle L_{den,Ar1} \rangle$ e $\langle L_{den,Ar2} \rangle$	Relação entre $N_1$ e $N_2$	Dificuldade de comparação
=	=	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, as Alternativas são idênticas
=	=	<	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
=	=	>	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 2 é melhor do que a Alternativa 1
=	<	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2,
=	<	<	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
=	<	>	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
=	>	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 2 é melhor do que a Alternativa 1
=	>	<	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
=	>	>	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 2 é melhor do que a Alternativa 1
<	=	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
<	=	<	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
<	=	>	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
<	<	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
<	<	<	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
<	<	>	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
<	>	=	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
<	>	<	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
<	>	>	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	=	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 2 é melhor do que a Alternativa 1
>	=	<	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	=	>	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 2 é melhor do que a Alternativa 1
>	<	=	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	<	<	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	<	>	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	>	=	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2
>	>	<	<b>Este caso suscita dificuldade de comparação</b>
>	>	>	Este caso não suscita dificuldade de comparação, a Alternativa 1 é melhor do que a Alternativa 2

Destes 27 casos possíveis, constata-se que apenas 12 suscitam dificuldade de comparação. Pode provar-se que o número de casos que suscitam dificuldade de comparação, para 3 parâmetros, vem dado por  $3 \times 2 + 3^2 - (2+1) = 12$ , para 4 parâmetros  $3 \times 12 + 3^3 - (12+1) = 50$  (de notar que o valor 12 constante na 2.<sup>a</sup> expressão vem do resultado da expressão anterior), para 5 parâmetros  $3 \times 50 + 3^4 - (50+1) = 180$  (de notar que o valor 50 desta última expressão vem do resultado da expressão anterior) e assim

sucessivamente. Nestas circunstâncias, quantos mais parâmetros existirem maior é a probabilidade de ocorrerem casos que suscitam dificuldade de comparação.

De notar que para os restantes 15 casos, qualquer função será válida, desde que não altere a relação explícita entre as Alternativas. Assim, para 3 parâmetros, uma vez que a probabilidade de ocorrência de casos que suscitam dificuldade de comparação é cerca de 44%, é menor a necessidade de uma função rigorosa, que relacione os diferentes parâmetros, do que para 4 parâmetros, onde a probabilidade de ocorrência de casos que suscitam dificuldade de comparação é de cerca de 62%.

Para estes 12 casos será necessário encontrar uma função que permita a sobreposição e ponderação adequada dos três parâmetros. Uma vez que a referência [136] estabelece relações objectivas para diferentes tipos de fonte, para determinação da percentagem média de pessoas incomodadas (%A), afigura-se adequado utilizar essas relações, conforme se exprime de seguida [de notar que, de acordo com a norma [5], distinguiu-se o caso do tráfego ferroviário de tracção diesel e alta velocidade, e tracção eléctrica, e introduziram-se as Indústrias (Actividade Ruidosas Permanentes [10]) e o parâmetro  $\langle L_{den,Ar} \rangle$ ].

1. Tráfego Aéreo:

$$\%A = 8,588 \times 10^{-6} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^2 + 1,221 \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)$$

2. Tráfego Rodoviário e Ferroviário de Tracção a Diesel e Indústrias (Actividade Ruidosas Permanentes):

$$\%A = 1,795 \times 10^{-4} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^3 + 2,110 \times 10^{-2} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^2 + 0,5353 \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37) \quad (17)$$

3. Tráfego Ferroviário de Tracção Eléctrica:

$$\%A = 4,538 \times 10^{-4} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^3 + 9,482 \times 10^{-3} \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)^2 + 0,2129 \times (\langle L_{den,Ar} \rangle - 37)$$

Dada a inexistência de relações oficiais dose-efeito para a Magnitude do impacte  $I$ , afigura-se adequado considerar as mesmas relações expressas anteriormente para  $L_{den,Ar}$ , fazendo corresponder o valor de  $I=0$  a  $L_{den,Ar}=40$  e o valor de  $I=15$  a  $L_{den,Ar}=65$ , de onde resultam as seguintes expressões adaptadas, onde  $\langle J \rangle = (40 - 1,667 \times \langle I \rangle)$ :

1. Tráfego Aéreo:

$$\%A_I = 8,588 \times 10^{-6} \times (\langle J \rangle - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} \times (\langle J \rangle - 37)^2 + 1,221 \times (\langle J \rangle - 37)$$

2. Tráfego Rodoviário e Ferroviário de Tracção a Diesel e Indústrias (Actividade Ruidosas Permanentes):

$$%A_I = 1,795 \times 10^{-4} \times (\langle J \rangle - 37)^3 + 2,110 \times 10^{-2} \times (\langle J \rangle - 37)^2 + 0,5353 \times (\langle J \rangle - 37) \quad (18)$$

3. Tráfego Ferroviário de Tracção Eléctrica:

$$%A_I = 4,538 \times 10^{-4} \times (\langle J \rangle - 37)^3 + 9,482 \times 10^{-3} \times (\langle J \rangle - 37)^2 + 0,2129 \times (\langle J \rangle - 37)$$

Assim, para cada Alternativa pode-se definir um Factor de Comparação,  $FC$ , dado por:

$$FC = \frac{\%A + \%A_I}{2} \times N$$

ou seja, corresponde aproximadamente à média de pessoas que se vão sentir incomodadas, para cada Alternativa, tendo em conta o valor médio aritmético de  $L_{den,Ar}$  e de  $I$ .

### Exemplo de aplicação

Admita-se que se pretende construir uma Circular Rodoviária a uma dada Zona Urbana, existindo duas Alternativas em estudo. A Alternativa 1 possui 5 Receptores Potencialmente Afectados e a Alternativa 2 possui 12 Receptores Potencialmente Afectados, pois esta última ficará mais perto da zona urbana. Nestas circunstâncias o Ruído de Referência da Alternativa 2 assume valores mais elevados, pelo que o valor médio de  $I$  é baixo e igual a 1 dB.

Para a Alternativa 1 o valor médio de  $I$  é mais elevado e igual a 15 dB. Para as duas Alternativas o valor médio de  $L_{den,Ar}$  (Ruído Ambiente) é igual a 55 dB(A). Assim tem-se [tratando-se de tráfego rodoviário usam-se as expressões (17) e (18)]:

$$FC_1 \approx \frac{0,18+0,35}{2} \times 5 = 1,325$$

$$FC_2 = \frac{0,18+0,03}{2} \times 12 = 1,26$$

De acordo com os critérios definidos, a melhor Alternativa, na componente ruído, corresponde à Alternativa 2, pois o maior número de pessoas afectadas ( $12 > 5$ ) é contrabalançado por um valor médio de  $I$  significativamente inferior ( $1 < 15$ ).

De salientar que apesar de ser importante a definição de parâmetros objectivos que permitam comparar de forma isenta diferentes Alternativas, será conveniente perceber também até que ponto os valores 1,325 e 1,26, obtidos neste exemplo, serão na realidade idênticos.

## **5.2. Ruído Ambiente Interior**

### **5.2.1. Previsão e medição**

#### **5.2.1.1. Sugestões gerais**

Em termos de previsão e medição de Ruído Ambiente Interior, apresentam-se as seguintes sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos, tendo em conta os erros, inconsistências e indefinições identificados nos capítulos 4.2.1 a 4.2.6.

##### 1. Previsão:

- Estabelecimento, em documento oficial:
  - Da necessidade de uso de método alternativo ao estabelecido na norma [73], para previsão do Isolamento a Sons de Percussão de baixo para cima, nomeadamente a metodologia preconizada nas páginas 196 e 197 do livro [16] e a referência [130];
  - Da necessidade de uso do método estabelecido no Anexo D da norma [14], para previsão não subvalorizada do Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular.
- Correção nas normas [72,74] dos erros explicitados no capítulo 4.2.1.

##### 2. Medição:

- Estabelecimento, em documento oficial:
  - Da possibilidade de uso de Fonte Dodecaédrica típica para a realização de medições de Isolamento Sonoro de Fachada, desde que cumpridos os requisitos do capítulo 4.2 da norma [79].
  - De esclarecimento da forma de verificação, através de medições, do cumprimento dos requisitos do capítulo 4.2 da norma [79].
  - De esclarecimento do conceito de Ruído Aéreo de Máquina de Percussão, tendo em conta o desenvolvido no capítulo 4.2.5. Em caso de esclarecimento no sentido da metodologia desenvolvida no capítulo 6.2.6, indicação desta tipologia, ou similar, para caracterização do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão.

- Da quantificação do limite de Tempo de Reverberação próprio da Fonte de impulso, para que a mesma possa ser usada nas medições de Tempo de Reverberação, e da indicação da forma de caracterização dessa reverberação própria através de medições.
- Correção na norma [80] do erro explicitado no capítulo 4.2.1.

### **5.2.1.2. Desenvolvimentos particulares**

Resultam assim os seguintes desenvolvimentos particulares, que se expõem no capítulo 6, de previsão em Ruído Ambiente Interior: “6.1.6 Aplicações informáticas”: “6.1.6.2 Previsão do Tempo de Reverberação”, e de medição em Ruído Ambiente Interior: “6.2.6 Método de medição do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão”.

## **5.2.2. Limitação**

### **5.2.2.1. Introdução**

Apresentam-se em seguida sugestões de alteração do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [18], datado de 2008.

As sugestões de alteração do RRAE [18], visam, no essencial, a clarificação de conceitos julgados importantes e que podem condicionar a avaliação objectiva do cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais por parte de determinada situação, a uniformização dos requisitos com os conhecimentos científicos internacionais consolidados, nomeadamente a necessidade de maior protecção dos Berçários [66,111].

### **5.2.2.2. Alteração do DL 96/2008**

Face ao exposto no capítulo 4.2, recomendam-se as seguintes alterações e clarificações do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [18]:

1. Aferição da pertinência de recuperação das exigências da legislação anterior devido ao uso de parâmetros Padronizados: De acordo com a Figura 22, do capítulo 3.2.3.1, a manutenção dos valores limite com uso de parâmetros Padronizados torna a legislação menos exigente em 3 dB, para compartimentos Receptores com área em planta de 20 m<sup>2</sup>, e 6 dB menos exigente para compartimentos Receptores com área em planta de 40 m<sup>2</sup>.

2. Definição de Área de Absorção Sonora Equivalente no Artigo 2.º.
3. Clarificação do Critério de Incomodidade: Especificar que o Critério de Incomodidade (Artigo 13.º da Legislação [10]) também deve ser tido em conta nos Projectos Acústicos e na Avaliação Acústica.
4. Clarificação do conceito de Zona de Estar: Julga-se que o conceito de zona de estar deve incluir casas de banho, cozinhas, escritórios e outros locais onde os habitantes possam de facto estar durante algum tempo e possam necessitar de alguma tranquilidade/privacidade.
5. Equipamentos de carácter privativo: Estabelecer que o critério de incomodidade também se aplica aos equipamentos de carácter privativo, função de uma eventual revisão da Legislação [10], no sentido do que se sugere no capítulo 5.1.2.
6. Isolamento Sonoro de Fachada em Escritórios e Refeitórios: Corrigir a alínea a) do n.º 1 do Artigo 6.º da Legislação [18], no sentido de os requisitos de isolamento sonoro de fachada se aplicarem a qualquer escritório e não só com  $V \geq 100 \text{ m}^3$ . Corrigir a alínea a) do n.º 1 do Artigo 7.º e do Artigo 8.º, da Legislação [18], no sentido de os requisitos de isolamento sonoro de fachada se aplicarem também a refeitórios.
7. Protecção dos Berçários: Corrigir o Quadro II da Legislação [18], no sentido de deslocar os Berçários para a coluna do meio (Bibliotecas e gabinetes médicos). Corrigir o Quadro IV da Legislação [18], no sentido de os requisitos mais exigentes (Biblioteca) aplicarem-se também a Berçários.
8. Erros: correcção dos erros, associados à legislação [18], explicitados no Quadro 29.

### **5.2.3. Avaliação**

#### **5.2.3.1. Introdução**

Apresentam-se em seguida sugestões de alteração dos Critérios de Amostragem LNEC [23], datado de 2009, no sentido do esclarecimento da necessidade caracterização do Critério de Incomodidade e da Área de Absorção Sonora Equivalente, e de uniformização, com a norma [82], da forma de correcção do Nível de Avaliação em função do Tempo de Reverberação.

#### **5.2.3.2. Alteração dos Critérios de Amostragem LNEC**

Julga-se que os Critérios [23] devem ser revistos nos seguintes pontos:

1. Esclarecer a necessidade de caracterização do Critério de Incomodidade [10] nas Avaliações

Acústicas, esclarecendo eventualmente também que, não existindo as Fontes de ruído em causa, deve ser efectuada, na medida do possível, uma simulação do ruído previsto no Projecto Acústico ou em outra referência justificadamente credível.

2. Explicitar a necessidade de caracterização da Área de Absorção Sonora Equivalente.
3. Modificar o capítulo 3 dos critérios de amostragem, no sentido de a forma de correcção do Nível de Avaliação do ruído de equipamentos em função do Tempo de Reverberação, ser a que está patente na norma [82], ou seja a correcção feita Banda a Banda e posterior cálculo do valor global, ou incluir justificação para a metodologia diferente apresentada.

## **5.3. Vibração Ambiente**

### **5.3.1. Previsão e medição**

#### **5.3.1.1. Sugestões gerais**

Em termos de previsão e medição de Vibração Ambiente, apresentam-se as seguintes sugestões de melhoria, de complementação e de novos métodos, tendo em conta os erros, inconsistências e indefinições identificados nos capítulos 4.3.1 a 4.3.3.

1. Previsão: Estabelecimento, em documento oficial:

- De metodologia geral de previsão da vibração, sobretudo para Ferrovias, tendo por base, por exemplo, o estabelecido nos capítulos 3.3.1.2, 6.1.4 e 6.3.3;
- De esclarecimento do parâmetro a usar nas previsões, em princípio, de acordo com os Critérios LNEC, o valor máximo da velocidade eficaz de vibração de segundo a segundo, aquando da passagem dos comboios.

2. Medição: Estabelecimento, em documento oficial:

- De metodologia geral de medição da vibração, sobretudo para Ferrovias, direccionada para a obtenção de dados para a previsão da vibração, tendo por base, por exemplo, o estabelecido nos capítulos 3.3.1.2, 6.1.4 e 6.3.3;
- De esclarecimento do parâmetro a caracterizar e frequências de análise;
- De esclarecimento da periodicidade de verificação dos sistemas de medição da vibração.

### **5.3.1.2. Desenvolvimentos particulares**

Apresenta-se um desenvolvimento de previsão no capítulo “6.1.4 Método de previsão expedita para Vibração Ambiente” e um desenvolvimento de previsão relacionando medições no capítulo “6.3.3 Vibração Ambiente”.

## **5.3.2. Limitação**

### **5.3.2.1. Introdução**

Apresenta-se em seguida sugestão de Regra de Boa Prática para a limitação da Vibração Ambiente, que visa no essencial esclarecer e complementar alguns aspectos dos Critérios de Vibração LNEC já existentes [20], tendo por base os Critérios de Vibração USA [21].

### **5.3.2.2. Regra de Boa Prática**

Dada a falta de consenso em alguns aspectos da análise de vibrações [137,138], sugere-se que se comece com a definição de uma Regra de Boa Prática da Agência Portuguesa do Ambiente, ou do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para limitação da vibração continuada, baseada nos Critérios [20] e complementada em conformidade com o indicado nos capítulos 4.3.3 e 4.3.4.

1. Parâmetro: Esclarecer que o parâmetro de análise é o Valor Global Máximo (ver especificações da Gama de Frequências em seguida) da velocidade eficaz de segundo a segundo,  $v_{max,ef,1s}$  durante o evento em causa. Manter a perspectiva dos Critérios de Vibração LNEC, do uso da componente mais expressiva (horizontal ou vertical).
2. Gama de frequências: Em conformidade com a norma [58] esclarecer que as gamas de frequência de análise, na qual se devem calcular os respectivos valores globais, são:
  - Danos em Edifícios: 1 Hz a 500 Hz;
  - Incomodidade humana devida à vibração propriamente dita: 1 Hz a 80 Hz;
  - Incomodidade humana devida ao ruído estrutural no interior de edifícios: 16 Hz a 250 Hz (no caso de medições de vibração para determinação das transmissões marginais associadas a isolamentos sonoros, a gama é pelo menos 100 Hz a 3150 Hz);
  - Interferência no funcionamento de equipamentos sensíveis: 1 Hz a 200 Hz.
3. Valores limite: Afigura-se adequado manter os valores limite dos Critérios de Vibração LNEC,

esclarecer as gamas de frequência de medição e acrescentar outros valores limite apenas para os casos mais sensíveis, não suficientemente protegidos pelos Critérios de Vibração LNEC de acordo com os Critérios de Vibração USA, conforme se indica no Quadro 33.

**Quadro 33: Sugestão de Regra de Boa Prática para limitação da Vibração Ambiente**

Danos em edifícios	Incomodidade devida à vibração	Incomodidade devida ao ruído estrutural	Interferência com o funcionamento de equipamentos/actividades muito sensíveis à vibração
Edifícios Comuns $v_{max,ef,1s}$ [1 a 500 Hz] < 3,5 mm/s	Edifícios com usos comuns com sensibilidade à vibração (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc) $v_{max,ef,1s}$ [1 a 80 Hz] < 0,11 mm/s	Edifícios com usos comuns com sensibilidade ao ruído estrutural (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc) $v_{max,ef,1s}$ [16 a 250Hz] < 0,030 mm/s	$v_{max,ef,1s}$ [1 a 500 Hz] devido ao projecto $\leq$ $v_{max,ef,1s}$ [1 a 500 Hz] sem o projecto  Caso seja superior, ver caso a caso o limite adequado a observar em função do tipo de equipamento/actividade específica.
Edifícios extremamente sensíveis a danos e monumentos $v_{max,ef,1s}$ [1 a 500 Hz] < 0,8 mm/s	Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação $v_{max,ef,1s}$ [1 a 80 Hz] < 0,045 mm/s	Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação $v_{max,ef,1s}$ [16 a 250Hz] < 0,008 mm/s	

### 5.3.3. Avaliação

#### 5.3.3.1. Introdução

Apresenta-se sugestão de objectivação da qualificação de impactes (capítulo 5.3.3.2) e da análise comparativa de Alternativas (capítulo 5.3.3.3), que visam no essencial estabelecer critérios quantitativos normalizados que permitam uniformizar as análises de impacte, em termos de Vibração Ambiente, na medida em que, presentemente, não existindo esses critérios normalizados, o mesmo projecto pode ter diferentes qualificações de impacte e as mesmas Alternativas podem ter diferentes análises comparativas.

#### 5.3.3.2. Quantificação da qualificação de impactes

Dada a necessidade de Avaliação de Impacte Ambiental, de alguns projectos [127], também em termos de Vibração Ambiente, afigura-se adequado estender, *mutatis mutandis*, o estabelecido no capítulo 5.1.3.3. Dadas as maiores incertezas, afigura-se adequado simplificar a qualificação da Magnitude do Impacte, e definir apenas Magnitude Baixa e Magnitude Elevada, limitadas por um valor de 3,5 vezes (média dos quocientes entre os limites mais e menos exigentes do Quadro 33), conforme se explicita no Quadro 34.

**Quadro 34: Resumo da objectivação da qualificação de impactes para Vibração Ambiente**

Qualificação do Impacte		Objectivação
Impacte Nulo		$v_{max,ef,1s}(VRes.) = v_{max,ef,1s}(VRef.)$
Impacte Negativo	Magnitude Baixa	$v_{max,ef,1s}(VRef.) < v_{max,ef,1s}(VRes.) \leq 3,5 \times v_{max,ef,1s}(VRef.)$
	Magnitude Elevada	$v_{max,ef,1s}(VRes.) > 3,5 \times v_{max,ef,1s}(VRef.)$
Impacte Positivo	Magnitude Baixa	$v_{max,ef,1s}(VRes.) < v_{max,ef,1s}(VRef.) \leq 3,5 \times v_{max,ef,1s}(VRes.)$
	Magnitude Elevada	$v_{max,ef,1s}(VRes.) > 3,5 \times v_{max,ef,1s}(VRef.)$
Impacte Muito Significativo e Irreversível		Ultrapassagem dos Critérios de Boa Prática de limitação da vibração*
Impacte Pouco Significativo e Reversível		Não Ultrapassagem dos Critérios de Boa Prática de limitação da vibração*
Impacte Directo		Sempre que o Impacte resulta directamente da vibração produzida pelo projecto
Impacte Indirecto		Sempre que o Impacte resulta indirectamente do Projecto, por exemplo, alteração de tráfego em vias existentes devido à implementação do projecto.
Impacte Secundário		Impactes resultantes de outros projectos
Impacte Cumulativo		Impactes resultantes da sobreposição (raiz quadrada da soma dos quadrados das velocidades de vibração) do projecto em causa com outros projectos previstos conhecidos
Impacte Temporário		Impactes na fase de construção ou desactivação
Impacte Permanente		Impactes na fase de exploração
Extensão do Impacte		Percentagem de Receptores com determinado impacte relativamente ao total de Receptores Potencialmente Afectados**
Probabilidade do Impacte		Definida através da incerteza das previsões da vibração, a ser definida e justificada em cada caso

VRes.: Vibração Resultante. Ref.: Vibração de Referência. \* Uma vez que na componente Ruído Ambiente não é usual avaliar o Impacte em termos de protecção dos trabalhadores contra o ruído, sendo tal análise efectuada nos Planos de Segurança e Higiene, afigura-se adequado também não avaliar o impacte na componente Vibração Ambiente em termos de danos nos edifícios, devendo tal análise ser efectuada nos Planos de Segurança e Higiene.

\*\* Ver capítulo 6.1.4.

### 5.3.3.3. Quantificação da análise comparativa

Relativamente à análise comparativa, afigura-se adequado estender, *mutatis mutandis*, o estabelecido no capítulo 5.1.3.4.

Na ausência de mais informação afigura-se adequado limitar a análise comparativa à média aritmética linear de  $v_{max,ef,1s}(Res)$  e ao número  $N$  de Receptores Potencialmente Afectados (ver capítulo 6.1.4). Caso a comparação desses dois parâmetros conduza a resultados diferentes deverá equacionar-se devidamente a sua sobreposição, de acordo com a informação mais recente disponível, apontando-se desde já para a seguinte relação (Factor de Comparação  $FC$ ) que tem em conta a relação quadrática na adição energética das velocidades eficazes de vibração ( $\overline{v_{max,ef,1s}}$  corresponde ao valor médio aritmético nos diferentes Receptores de cada Alternativa):

$$FC = \sqrt{N} \times \overline{v_{max,ef,1s}}$$

## 6. Métodos e acessibilidades desenvolvidos

### 6.1. Previsão

#### 6.1.1. Introdução

Apresentam-se desenvolvimentos particulares de métodos inovadores, nomeadamente:

1. Método de determinação da Área de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais (capítulo 6.1.2), que aplica, pela primeira vez, dentro das referências conhecidas, o Princípio da Reciprocidade a um *software* normal de modelação acústica de exteriores, abrindo assim a possibilidade de utilização desses *softwares* para determinação, em fases tão antecedentes quanto possível, da Área de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais, em particular Aerogeradores, o que não ocorre actualmente com desvantagens importantes a nível da eficiência no desenvolvimento deste tipo de projectos. Com este método será possível assim aos consultores acústicos não só verificar se uma determinada localização de uma Fonte Pontual, particularmente um Aerogerador, faz cumprir ou não os requisitos legais nos Receptores Sensíveis, como também dizer com maior propriedade, caso não faça cumprir, qual a área alternativa de localização para que se façam cumprir os requisitos legais (Área de Permissão Acústica).
2. Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior (capítulo 6.1.3), que, através do esmiuçar dos métodos provisórios de cálculo em vigor em Portugal [12], permitiu a maior simplificação possível das variáveis e relações com influência na determinação dos Níveis Sonoros, para criação de método simplificado, de fácil utilização (é viável a utilização do método com recurso às curvas de referência desenvolvidas e a uma máquina de calcular simples, o que pode ser muito útil tendo em conta o denominado Paradoxo da Produtividade [139]) e de fácil adaptação informática, conforme evidenciado no capítulo 6.1.6.1, e nas referências [140,141], permitindo assim o desejável acesso facilitado e utilização expedita do método, para mais fácil incentivo à sua utilização. Considera-se que a utilização do método simples explicitado, nas fases iniciais dos planos e dos projectos, poderá ser de grande utilidade para a determinação prévia da Área de Influência Acústica, e para o importante processo de decisão, quer em termos de análise comparativa prévia de diferentes Alternativas, quer em termos da abrangência da área de estudo onde é necessária cartografia 3D em fases subsequentes, para uma previsão mais rigorosa dos níveis sonoros. Considera-se também que o

método simples apresentado poderá ser usado com valor na aferição de resultados associados a modelos complexos, onde a probabilidade de erro é mais elevada.

3. Método de previsão expedita para Vibração Ambiente (capítulo 6.1.4), que, na ausência de métodos normalizados de previsão da Vibração Ambiente em Portugal, assume especial importância, para além das semelhantes vantagens e aplicabilidades referidas para o método de previsão expedita de Ruído Ambiente Exterior.
4. Método alternativo de previsão de características tonais (capítulo 6.1.5), que, de forma original no quadro das referências conhecidas, faz uso dos *softwares* normais de previsão dos Níveis Sonoros por Bandas de frequência de 1/1 de oitava, ainda em vigor em Portugal e na Europa [12], para determinar as atenuações de propagação por Bandas de 1/1 de oitava, interpolar as atenuações de propagação por 1/3 de oitava e extrapolar, assim, as previsões dos níveis sonoros por Bandas de 1/3 de oitava.
5. Aplicação informática (capítulo 6.1.5), de acesso facilitado, para cálculo do Tempo de Reverberação, apresentando os resultados para a hipótese de Absorção Sonora regular e para a hipótese de Absorção Sonora irregular (método do Anexo D da norma [14]), permitindo assim aferir as diferenças e fornecer ao Projectista de Acústica informação necessária e relevante para o melhor dimensionamento possível de eventuais medidas de condicionamento do Tempo de Reverberação.

### **6.1.2. Método de determinação das Áreas de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais**

Dado o crescimento dos Parques Eólicos em Portugal e sendo o ruído uma das componentes que pode condicionar a localização dos Parques Eólicos, cujos Aeroogeradores são normalmente modelados, em termos de ruído, como Fontes Pontuais, será importante que se consiga definir aquando do plano do Parque Eólico, quais as Áreas de Permissão Acústica, para obviar desagradáveis surpresas em fases subsequentes, nomeadamente a impossibilidade de operação de um ou outro Aeroogerador, dada a proximidade de edifícios com sensibilidade ao ruído e o diferencial entre os níveis sonoros previstos e existentes (Critério de Incomodidade; ver capítulo 5.1.2). De notar que não se considera neste desenvolvimento o efeito das Baixas Frequências, referido no capítulo 5.1.2.3.

### **6.1.2.1. Caracterização do Ruído Residual**

Sugere-se assim que numa fase tão antecipada quanto possível, seja efectuado um levantamento dos níveis sonoros junto a Receptores Sensíveis (habitações, escolas, hospitais e similares e espaços de lazer), na zona onde se prevê ir localizar as Fontes Pontuais (em particular os Aero geradores de Parques Eólicos). Uma vez que o Critério de Incomodidade estabelecido em [10] aplica-se, de acordo com o n.º 4 do seu Anexo I, ao mês mais crítico de emissão sonora, será necessário que o levantamento dos níveis sonoros seja efectuado nesse mês (caso já seja conhecido) ou durante todo o ano (caso o mês mais crítico não seja conhecido ou caso se siga a sugestão de melhoria da legislação, apresentada no capítulo 5.1.2, no sentido de o mês mais crítico não ser definido em função da maior emissão sonora da Fonte mas sim em função do maior diferencial, o que obriga a conhecer o Ruído Residual durante todo o ano; de referir a este respeito que a possibilidade de utilização de sistemas de Classe 2 de monitorização contínua, conforme referido no capítulo 3.1.6, poderá tornar mais viável a efectivação da necessária e desejável monitorização contínua abrangente).

### **6.1.2.2. Caracterização da emissão sonora média dos Aero geradores**

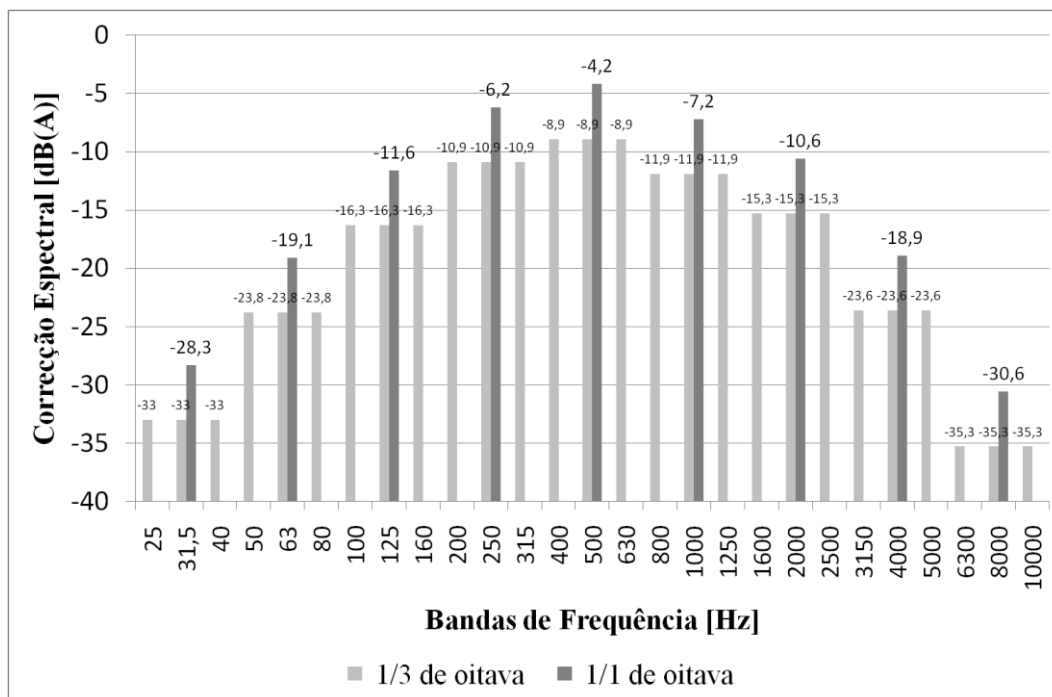
A caracterização da emissão sonora média dos Aero geradores não é tão fácil quanto possa parecer à primeira vista, pois, em rigor, é necessária informação relativamente aos Níveis de Potência Sonora para diferentes regimes de vento e informação relativamente aos regimes de vento em cada mês para o local, e infelizmente essa informação não está normalmente disponível [de referir também que normalmente não existe informação espectral de emissão sonora, podendo contudo recorrer-se à base de dados Source dB [e1,e2], onde é possível verificar e determinar, para *Windmill- Vesitas V90-3.0MW*, as correcções espectrais apresentadas na Figura 28 (de notar que para alguns casos, e para o caso em apreço, a base de dados Source dB adaptou os dados de 1/1 de oitava para 1/3 de oitava, considerando iguais valores para as Bandas de 1/3 de oitava de cada Banda de 1/1 oitava)].

A informação base tipo habitual, de emissão sonora dos Aero geradores, é a que se apresenta no Quadro 35.

Se existir informação disponível relativamente aos regimes de vento em cada mês a 10 m de altura, pode-se calcular a emissão sonora média energética, em cada mês, prevista para os Aero geradores. Na ausência dessa informação, poderá considerar-se, numa perspectiva de segurança significativa, uma emissão sonora contínua (24 h/dia) do valor máximo.

De referir que na eventualidade de existir a distribuição de probabilidades das velocidades do vento a

10 m de altura, é necessário introduzir algum factor de segurança, pois na informação tipo apresentada no Quadro 35, é considerada uma relação tipo (perfil vertical do vento) entre a velocidade do vento a 10 m de altura e a velocidade do vento à altura do Aero gerador, pelo que, sobretudo à noite (conferir conclusões da referência [142]) pode o Aero gerador funcionar no regime máximo para velocidades do vento a 10 m de altura menores do que 7 m/s (no exemplo do Quadro 35).



**Figura 28: Correção Espectral típica para Aero geradores (Source dB)**

**Quadro 35: Informação tipo de emissão sonora de Aero geradores**

Velocidade do vento a 10 m de altura	Nível de potência sonora garantido para Aero gerador a 85 m de altura
5 m/s	97,6 dB(A)
6 m/s	102,0 dB(A)
7 m/s	104,5 dB(A)
8 m/s	104,5 dB(A)
9 m/s	104,5 dB(A)
10 m/s	104,5 dB(A)

### 6.1.2.3. Utilização do princípio da Reciprocidade Acústica

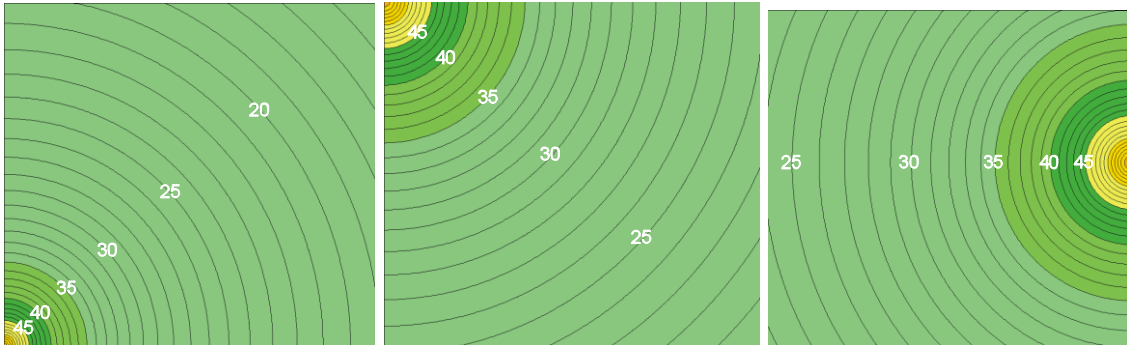
O Princípio da Reciprocidade Acústica [86], estabelece que, para o Ruído Ambiente Exterior, a localização da Fonte e do Receptor pode ser trocada que os resultados são os mesmos. Claro está que se existirem características direccionais, como sejam diferentes probabilidades de ocorrência de Condições Favoráveis à propagação sonora em diferentes sentidos, esses valores/sentidos necessitam

de ser invertidos (o valor de Norte passa para Sul, e assim sucessivamente), para que os resultados sejam coincidentes.

Assuma-se, como exemplo, que, tendo por base o estabelecido nos subcapítulos anteriores, se chegou aos seguintes valores (centraliza-se o exemplo apenas no período nocturno, sendo necessários os mesmos valores/cálculos para os outros períodos):

1. Altura dos Aero geradores e Nível de Potência Sonora: 85 m e 105 dB(A).
2. Coordenadas ( $x$ ,  $y$ ) em metros, altura e Ruído Residual dos 3 Receptores considerados, que circundam a zona de possível implantação do Parque Eólico:
  - R1 (0, 0): 1,5m de altura (edifício de 1 piso): 30 dB(A);
  - R2 (0, 2000): 4,5 m de altura (edifício de 2 piso): 40 dB(A);
  - R3 (2000, 1000): 7,5 m de altura (edifício de 3 pisos): 45 dB(A).

Com base nestes valores, para determinar a Área de Permissão Acústica dos Aero geradores, deverá calcular-se num *software* normal de modelação acústica de exteriores (tipo o Cadna A/ISO 9613-2 utilizado no presente trabalho; ver Apêndice A4), os Mapas de Ruído a 85 metros de altura, separadamente para uma Fonte Pontual localizada em cada um dos Receptores (uso do Princípio da Reciprocidade). Apresentam-se na Figura 29 os Mapas de Ruído obtidos no Cadna A (ver Apêndice A4), para um terreno plano (este método poderá e deverá ser utilizado com as curvas de nível do local), com um coeficiente de Absorção Sonora de 1, e considerando 100 % de probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora em todas as direcções [se existir informação direccional da probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora, é necessária a sua inversão; de notar que pode haver tendência a usar a Rosa dos Ventos do Local (informação normalmente disponível para um projecto de um Parque Eólico) contudo a probabilidade de ocorrência de condições favoráveis não depende só do sentido do vento mas também do gradiente vertical de temperatura, pelo que pelo menos nos sentidos em que a Rosa dos Ventos prevê probabilidades menores do que 52%, no período diurno Português, menores do que 75 %, no período do entardecer e menores do que 100 % à noite (probabilidade majorativas recomendadas em [1,41]), é necessário limitar essas probabilidades aos valores referidos, caso contrário corre-se o risco de uma subvalorização dos níveis sonoros nesses sentidos].



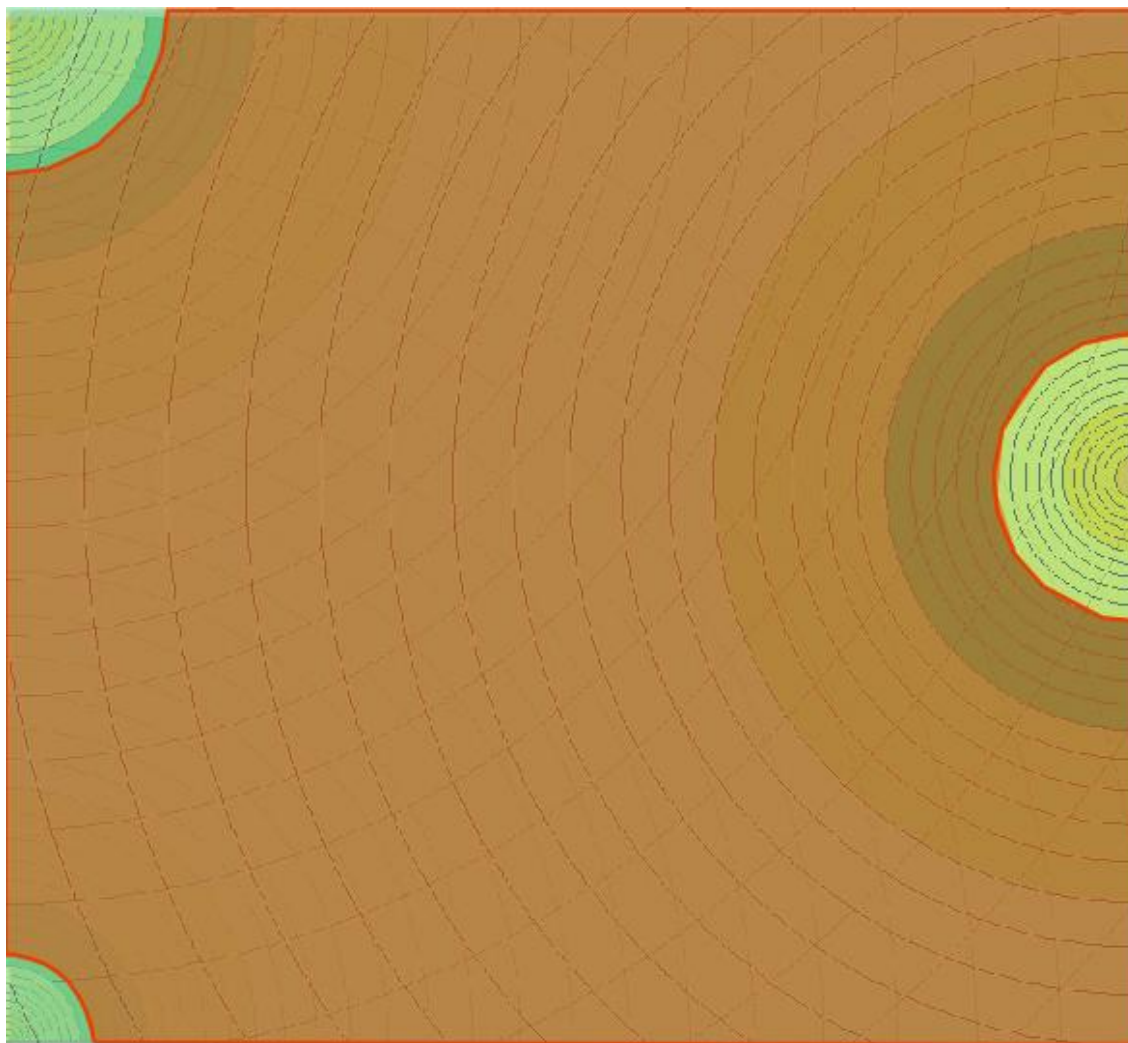
**Figura 29: Mapas de Ruído individuais usando o Princípio da Reciprocidade**

A Figura 29 significa assim que, por exemplo, se o Aerogerador se localizar na curva dos 20 dB(A), do mapa à esquerda (Receptor R1) os Níveis no Receptor R1 serão 20 dB(A). Para que se cumpra no máximo, por exemplo, 30 dB(A) no Receptor R2, é necessário que o Aerogerador se localize para além da curva dos 30 dB(A) do mapa do meio, e assim sucessivamente.

Para cumprir o Critério de Incomodidade no período nocturno, de acordo com os valores expostos de Ruído Residual, é necessário cumprir os seguintes valores de Ruído Particular (Mapas de Ruído):

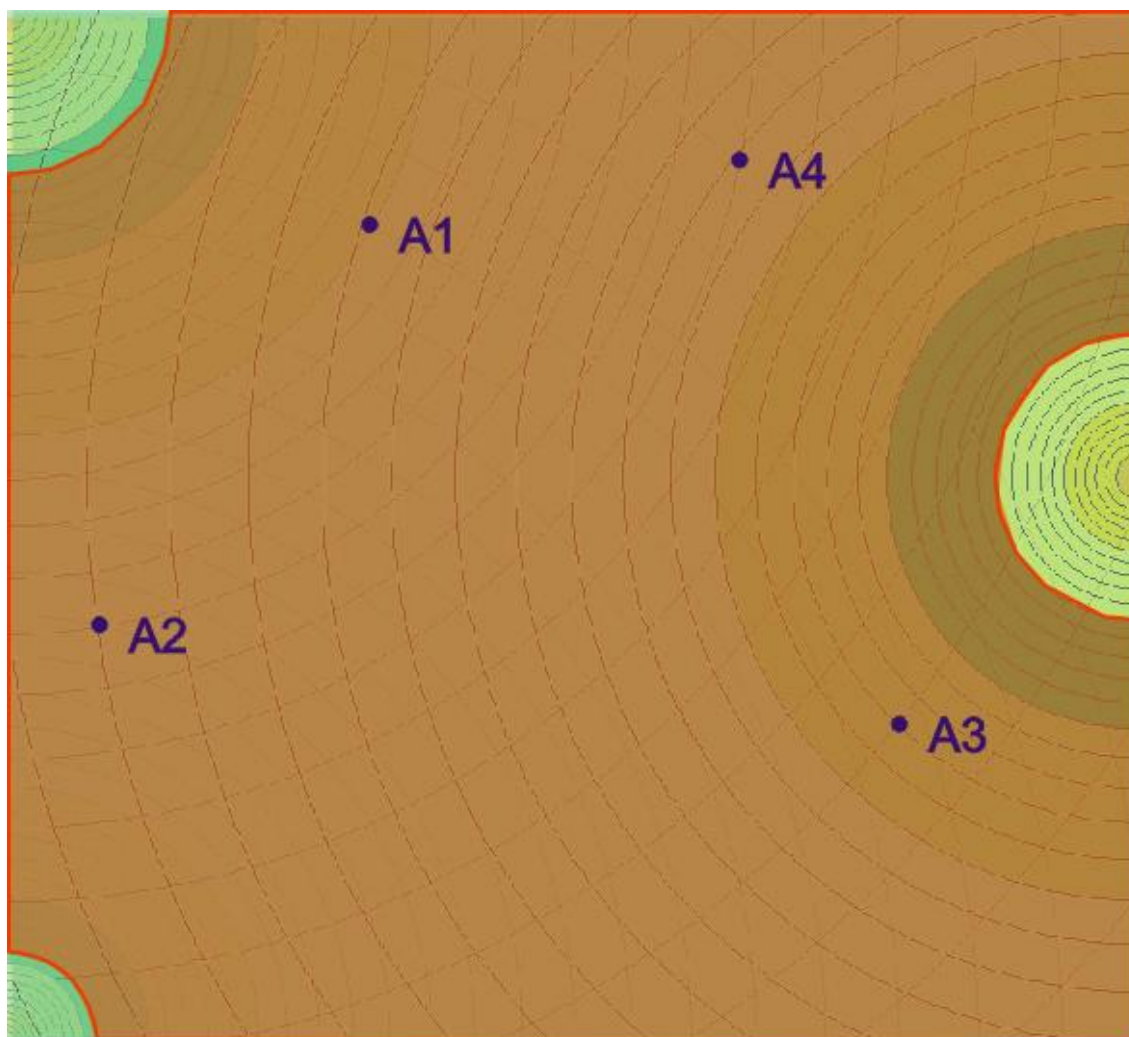
1. R1: 44 dB(A) [ $45 \oplus 30 \approx 45$  dB(A)]; só é necessário cumprir o diferencial nocturno de 3 dB, se for ultrapassado o valor de 45 dB(A) (de notar que é sugerida, no capítulo 5.1.2, a eliminação, de futuro, desta condicionante legal)];
2. R2: 44 dB(A) [ $44 \oplus 40 \approx 45$  dB(A)];
3. R3: 45 dB(A) [ $45 \oplus 45 \approx 47$  dB(A) e 47-45 cumpre o diferencial nocturno de 3 dB].

Assim, a localização de um só Aerogerador, poderá ocorrer em qualquer ponto dentro da área a vermelho que se apresenta na Figura 30, a qual corresponde assim à Área de Permissão Acústica, que por sua vez corresponde à intersecção dos limites referidos anteriormente para os Mapas de Ruído associados a cada um dos Receptores.



**Figura 30: Exemplo de Área de Permissão Acústica**

Para a localização de mais do que 1 Aerogerador, a mesma terá de ocorrer dentro da Área de Permissão Acústica, mas não em qualquer ponto, pelo que as configurações de localização de vários Aerogeradores necessitam ser analisadas caso a caso como se exemplifica na Figura 31 e Quadro 36.



**Figura 31: Exemplo de localização de vários Aerogeradores para análise integrada**

Apresentam-se no Quadro 36 os valores associados a cada Aerogerador para cada Receptor e o valor global obtido através da Soma Energética.

**Quadro 36: Ruído Particular global para um conjunto de Aerogeradores**

Receptores	Nível sonoro devido A1	Nível sonoro devido A2	Nível sonoro devido A3	Nível sonoro devido A4	Ruído Particular Global [ dB(A)]
R1	22	30	21	19	$22\oplus 30\oplus 21\oplus 19\approx 31$
R2	35	31	24	29	$35\oplus 31\oplus 24\oplus 29\approx 37$
R3	28	25	37	33	$28\oplus 25\oplus 37\oplus 33\approx 39$

Os resultados do Quadro 36 demonstram que a localização apresentada cumpre os limites legais assumidos.

### 6.1.3. Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior

#### 6.1.3.1. Área de Influência Acústica

Entende-se por Área de Influência Acústica a área envolvente ao projecto onde os níveis sonoros são superiores a um determinado valor de referência.

Na ausência de outra definição, afigura-se adequado sugerir a utilização dos seguintes Valores de Referência, para a Área de Influência Acústica, em função do tipo de Fonte e em conformidade com os limites sugeridos no capítulo 5.1.2 (utilizam-se valores de Ruído Particular, por simplicidade e porque a previsão simplificada que se vai apresentar é usualmente majorativa, devido à ausência de obstáculos e orografia, e apenas o parâmetro  $L_n$  por o período nocturno ser normalmente o mais desfavorável, contudo, caso assim não seja, poderão e deverão definir-se outros valores e/ou parâmetros de referência).

1. Tráfego rodoviário, Indústrias (Actividades Ruidosas Permanentes, incluindo equipamentos particulares) e tráfego ferroviário com tracção diesel ou de alta velocidade (>250 km/h):

$$L_n (\text{Ruído Particular}) = 45 \text{ dB(A)}.$$

2. Tráfego ferroviário com tracção eléctrica e velocidade menor ou igual a 250 km/h:

$$L_n (\text{Ruído Particular}) = 50 \text{ dB(A)}.$$

3. Tráfego Aéreo:

$$L_n (\text{Ruído Particular}) = 40 \text{ dB(A)}.$$

#### 6.1.3.2. Variação dos níveis sonoros com a distância à Fonte

De acordo com os métodos provisórios [4,28,30-32], a variação dos níveis sonoros com a distância à Fonte depende das seguintes variáveis:

1. Tipo de Fonte (características geométricas);
2. Divergência geométrica (depende apenas da distância à Fonte);
3. Absorção atmosférica (depende da distância à Fonte, do Espectro da Fonte, da temperatura e da humidade relativa do ar);
4. Efeito do Solo (depende da distância à Fonte, do Espectro da Fonte, da altura da Fonte e do

- Receptor, e do coeficiente de Absorção Sonora do solo);
5. Barreiras (depende da diferença entre a distância directa e a distância difractada, e do Espectro da Fonte);
  6. Condições Favoráveis (depende da probabilidade de ocorrência de gradientes verticais positivos de velocidade do som).

Assim e resumindo, uma vez que a variação dos níveis sonoros com a distância à Fonte depende: do tipo de Fonte, do Espectro de emissão sonora, da distância Fonte/Receptor, da temperatura do ar, da humidade relativa do ar, da altura da Fonte, da altura do Receptor, do coeficiente de Absorção Sonora do solo, da diferença entre a distância directa e difractada, e da probabilidade de ocorrência de condições favoráveis de propagação sonora, para determinar a Área de Influência Acústica de determinado projecto, é necessário verificar qual a influência destas variáveis na variação dos níveis sonoros com a distância à Fonte.

Nos capítulos seguintes apresenta-se a análise para Indústrias, Rodovias e Ferrovias. Não foi possível efectuar a análise para Aeroportos, de forma mais extensa, apresentando-se contudo, no capítulo 3.1.9, os valores de  $L_{Max}$  mais expressivos associados.

### 6.1.3.3. Simplificações

Por simplicidade e aplicabilidade vai-se considerar o seguinte:

1. Desprezam-se as difracções e as reflexões, ou seja, considera-se que não existem obstáculos entre a Fonte e o Receptor;
2. Todos os Receptores estão a uma altura de 4 metros;
3. A temperatura média é sempre 16 °C e a humidade média relativa 75 % (valores médios em Portugal [e11,e12]);
4. No caso das Rodovias e das Ferrovias considera-se sempre e só uma via recta muito longa;
5. No caso das Rodovias desprezam-se os fluxos ritmado contínuo, ritmado acelerado e ritmado desacelerado, e as inclinações subida e descida, limitando-se a análise ao fluxo fluído contínuo e à inclinação horizontal;
6. No caso das Ferrovias despreza-se a existência de comboios com sistema de travagem activado;

7. Para as Rodovias, considera-se o efeito do pavimento em termos globais e não por Bandas de frequência;
8. Para as Ferrovias, considera-se a variação da emissão sonora, devido aos diferentes tipos de comboio, diferentes velocidades e diferentes estruturas ferroviárias em termos globais (SRM I) e não por Bandas de frequência (SRM II).

#### **6.1.3.4. Gráficos de referência**

No caso das Indústrias, considera-se como referência o seguinte: Uma Fonte Pontual, localizada a 4 metros de altura, com 3 Espectros distintos [Ruído Branco (variação de 3dB/oitava), Ruído Castanho (variação de -3dB/oitava) e Ruído Castanho(A) (variação de 3dB(A)/oitava)].

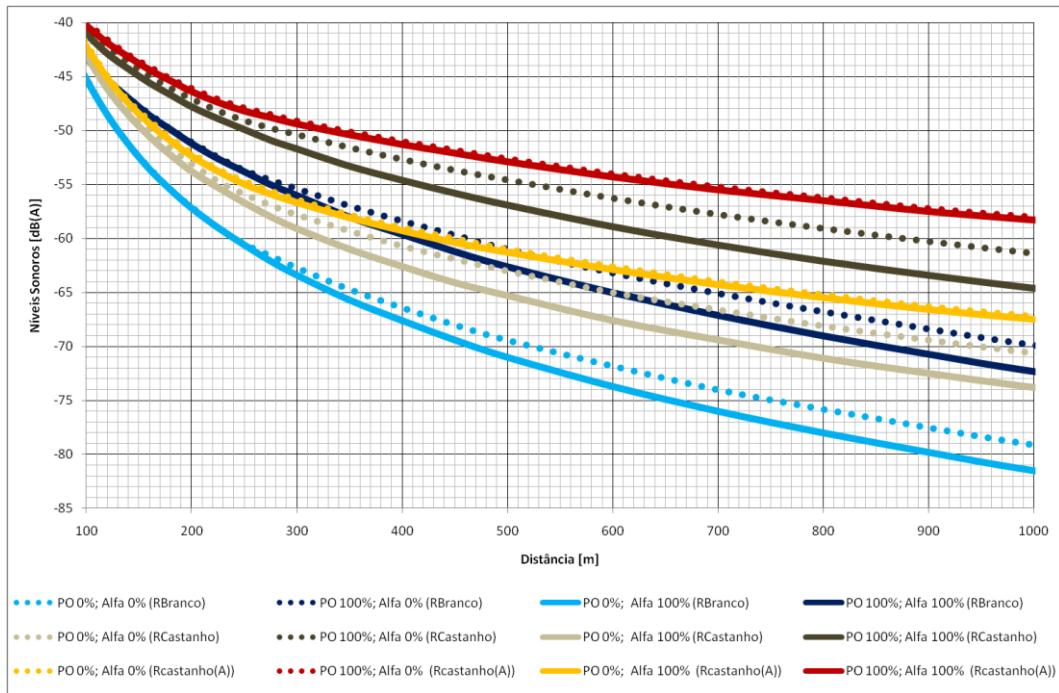
De acordo com a base de dados Source dB V1.1, disponível através da referência/site [e2], e acessível também em [e1], verificou-se que os 3 Espectros teóricos referidos são os que melhor representam, respectivamente, as situações reais de prevalência de agudos, médios e graves.

No caso das Rodovias, considera-se como referência o seguinte: Circulação de veículos Ligeiros sobre um pavimento betuminoso normal.

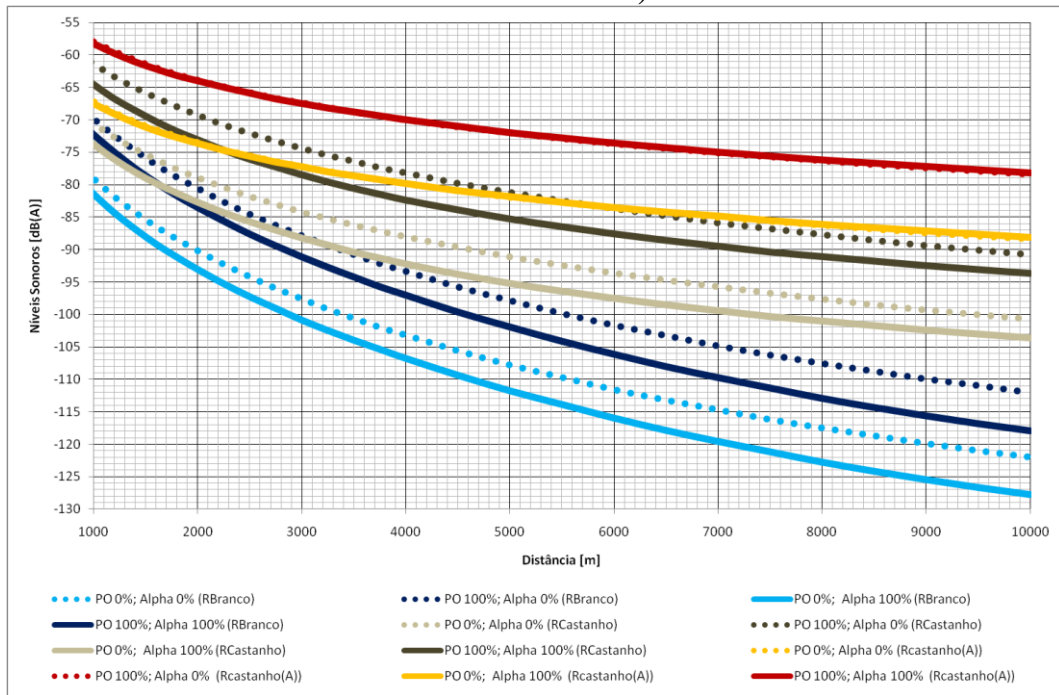
No caso das Ferrovias, considera-se como referência o seguinte: Circulação de comboio de categoria C9 sobre uma estrutura ferroviária de blocos de betão sobre balastro sem juntas de dilatação.

Apresentam-se na Figura 32 e na Figura 33 os Gráficos de referência para Indústrias, na Figura 34 e na Figura 35 os Gráficos de referência para Rodovias, e na Figura 36 e na Figura 37 os Gráficos de Referência para Ferrovias, para distâncias entre 100 e 1000 m e 1000 a 10000 m.

Os gráficos distinguem 3 coeficientes de Absorção Sonora do solo [Alfa = 0, Alfa = 0,5 (50%) e Alfa = 1 (100%)] e 3 probabilidades de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora (PO = 0%, PO = 50% e PO = 100 %). No caso das Indústrias o valor atribuído à constante  $C_0$  foi respectivamente o seguinte [41]:  $C_0 = 10$  dB,  $C_0 = 0,7$  dB e  $C_0 = 0$  dB, o que faz com que seja semelhante PO = 50% e PO = 100 %, pelo que, na Figura 32 e na Figura 33, não se apresenta PO = 50 %, e por razões idênticas de semelhança não se apresenta Alfa = 50%.



**Figura 32: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Indústrias; Fontes Pontuais)**



**Figura 33: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Indústrias; Fontes Pontuais)**

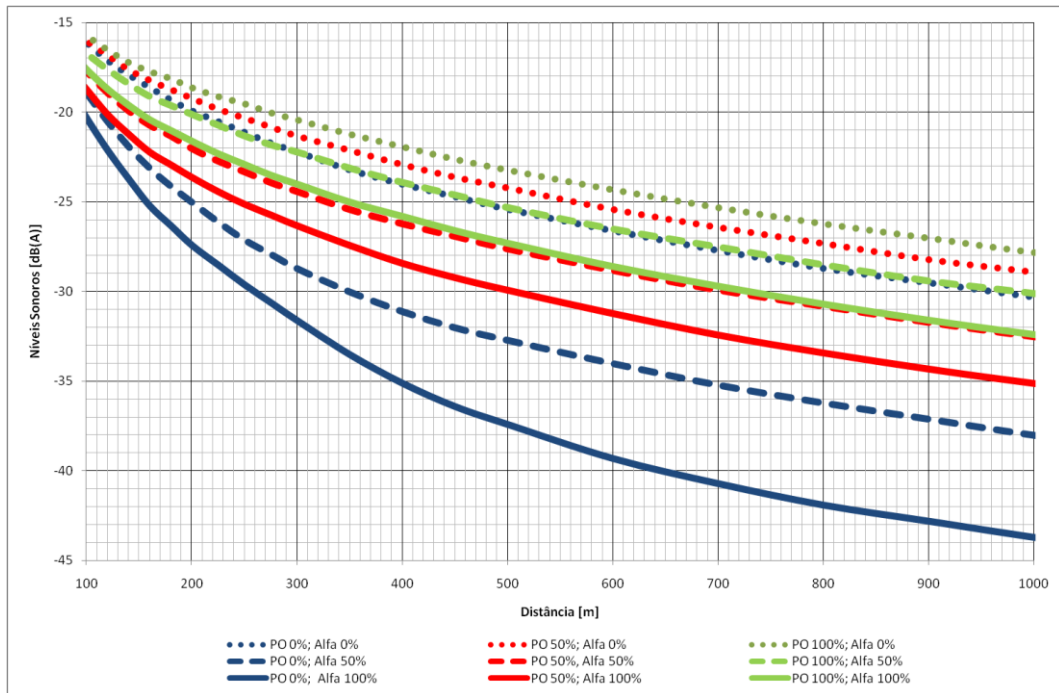


Figura 34: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Rodovias; via recta muito longa)

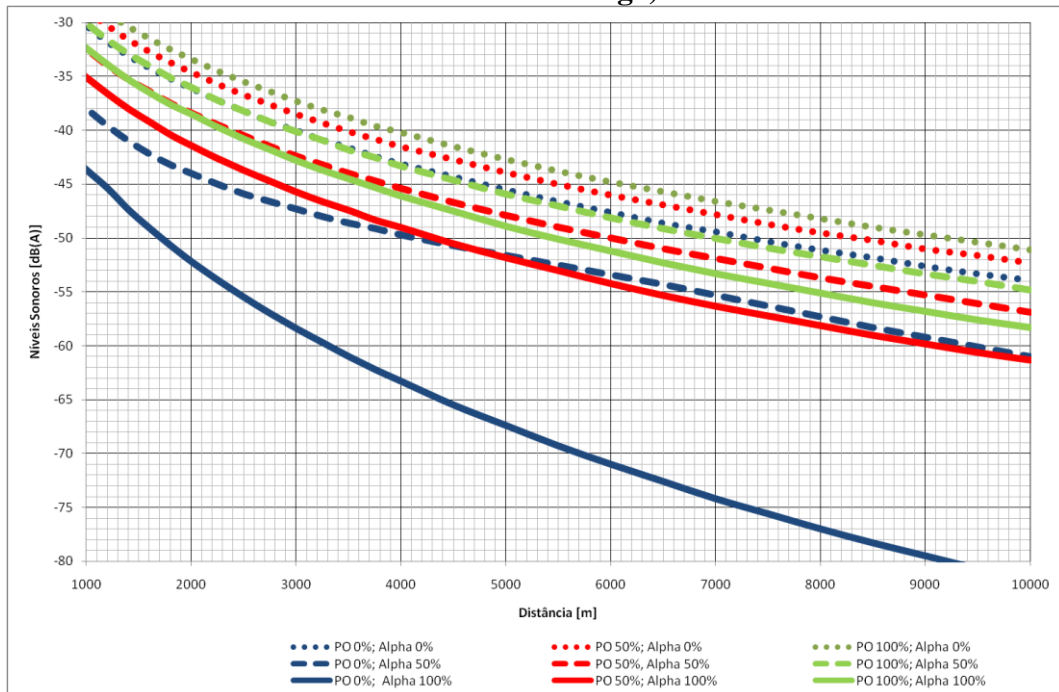
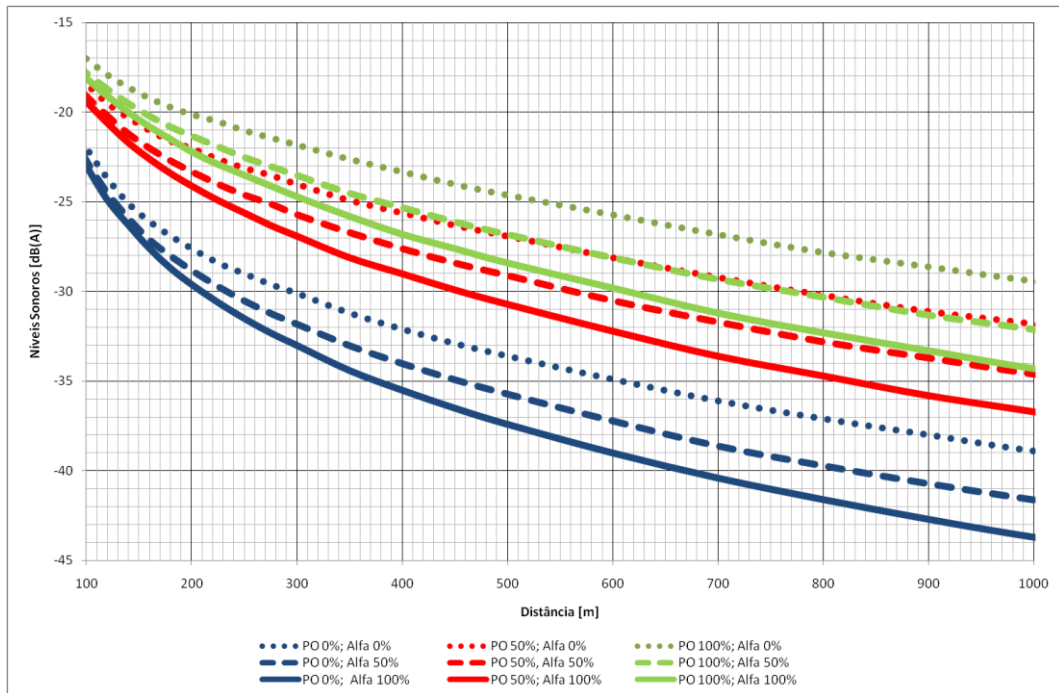
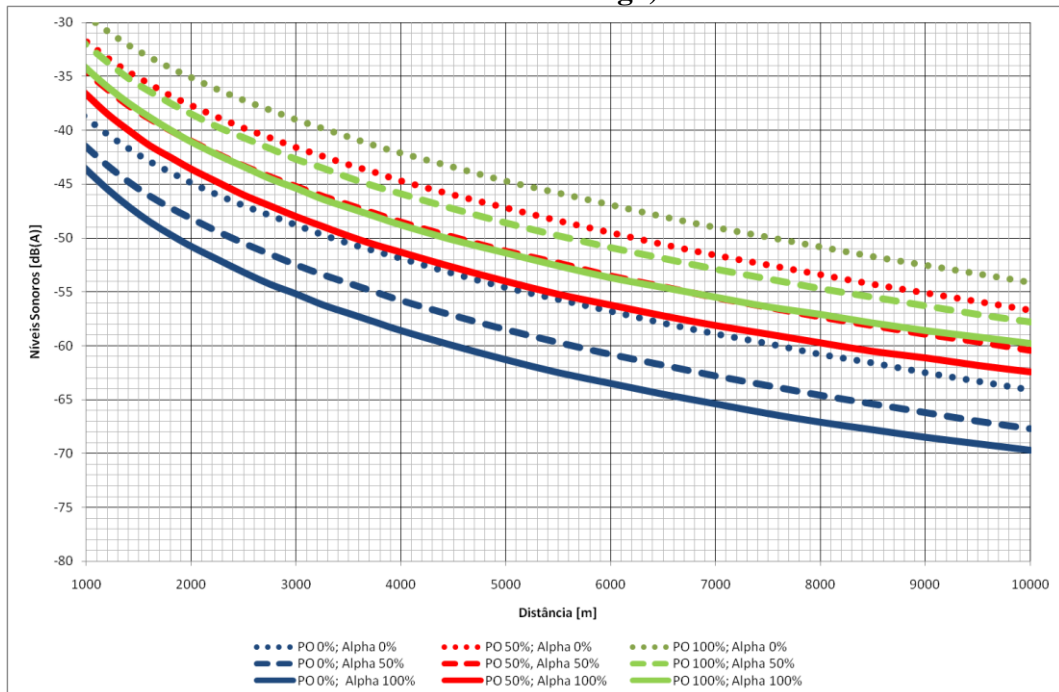


Figura 35: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Rodovias; via recta muito longa)



**Figura 36: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Ferrovias; via recta muito longa)**



**Figura 37: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Ferrovias; via recta muito longa)**

### 6.1.3.5. Valores de referência

O valor de referência corresponde ao valor  $L_1$  a 1 metro horizontal de distância da Fonte, considerando as posições de referência das Fontes [Indústrias (Ruído Branco e Ruído Castanho) (19), Indústrias (Ruído Castanho(A)) equação (20), Rodovias equação (21) e Ferrovias equação (22)]:

$$L_1 = L_{Aw} - 11 + 3 \times (1 - \text{Alfa}) \quad (19)$$

$$L_1 = L_{Aw} - 9 + 2 \times (1 - \text{Alfa}) \quad (20)$$

$$L_1 = 78 \text{ dB(A)} \quad (21)$$

$$L_1 = 74 \text{ dB(A)} + 2 \times (1 - \text{Alfa}) \quad (22)$$

O valor de referência para Rodovias corresponde a 1000 veículos Ligeiros por hora ( $Q_{ref}$ ) a circular a 100 km/h ( $v_{ref}$ ) sobre um pavimento de asfalto liso.

O valor de referência para Ferrovias corresponde a 20 comboios de categoria C9 por hora ( $Q_{ref}$ ) a circular a 100 km/h ( $v_{ref}$ ) sobre um sistema ferroviário de blocos de betão sobre balastro e carris sem juntas.

### 6.1.3.6. Correções aos gráficos e valores de referência

O valor  $L_{1Q}$ , associado a uma quantidade  $Q$  de Fontes diferente da quantidade de referência  $Q_{ref}$  é dado por:

$$L_{1Q} = L_1 + 10 \log(Q/Q_{ref}) \quad (23)$$

A correcção da altura da Fonte  $C_h$ , aplica-se apenas a Indústrias (Fontes Pontuais).

A correcção da altura da Fonte  $C_h$  é efectuada aos valores constantes no gráfico da Figura 32, e essa correcção varia com a distância horizontal  $d_h$  à Fonte na seguinte proporção, onde  $h_s$  é a altura da Fonte e  $h_{ref} = 4$  m a altura de referência, e aplica-se apenas as distâncias menores ou iguais a  $3|h_s - h_{ref}|$ .

$$C_h = 20 \log \left( \frac{d_h}{\sqrt{d_h^2 + (h_s - h_{ref})^2}} \right) \quad (24)$$

Acresce ao referido o facto da curva PO = 0% passar a ser igual à curva PO = 100 % até uma distância igual a  $10(h_s + 4)$ . A partir dessa distância a curva PO = 0% é igual à curva PO = 100 % corrigida do seguinte valor:

$$-10(1 - 10(h_s - 4))/d_h$$

De notar que, de acordo com a base de dados Source dB V1.1, disponível através das referências/site [e1,e2], a altura das Fontes varia entre 0,3 metros (diversos tipos de bombas) e 100 metros (chama de combustão).

A correcção do tipo de veículo  $C_T$ , aplica-se apenas a Rodovias e Ferrovias.

O valor  $L_{1T}$ , associado a um tipo de veículo diferente dos veículos de referência (Ligeiros para Rodovias e Categoria C9 para Ferrovias) é dado por:

$$L_{1Pesados} = L_{1Ligeiros} + 9 \quad (25)$$

$$L_{1C1} = L_{1C9} + 4 \quad (26)$$

$$L_{1C2} = L_{1C9} + 5$$

$$L_{1C3} = L_{1C9} + 1$$

$$L_{1C4} = L_{1C9} + 6$$

$$L_{1C5} = L_{1C9} + 7$$

$$L_{1C6} = L_{1C9} + 1 \quad (27)$$

$$L_{1C7} = L_{1C9} + 3$$

$$L_{1C8} = L_{1C9} - 1$$

Tendo por base a informação constante na referência [143] podem-se estabelecer correcções para o material circulante português.

A correcção de velocidade  $C_v$ , aplica-se apenas a Rodovias e Ferrovias.

O valor  $L_{1v}$ , associado a uma velocidade diferente da velocidade de referência  $v_{ref}$  é dado por:

$$L_{1v} = L_1 + C_v$$

Apresenta-se na Figura 38, na Figura 39 e na Figura 40, os valores de  $C_v$  em função da velocidade, respectivamente para Rodovias e Ferrovias.

A sobreposição de diferentes Fontes é efectuada através da soma energética (símbolo  $\oplus$ ):

$$L_I \oplus L_{II} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_I}{10}} + 10^{\frac{L_{II}}{10}} \right) \quad (28)$$

Consideram-se 5 tipos de pavimento e 5 tipos de estrutura ferroviária: Muito Pouco Ruidoso (correção -6 dB), Pouco Ruidoso (-3 dB), Normal (0 dB), Ruidoso (3 dB) e Muito Ruidoso (6 dB).

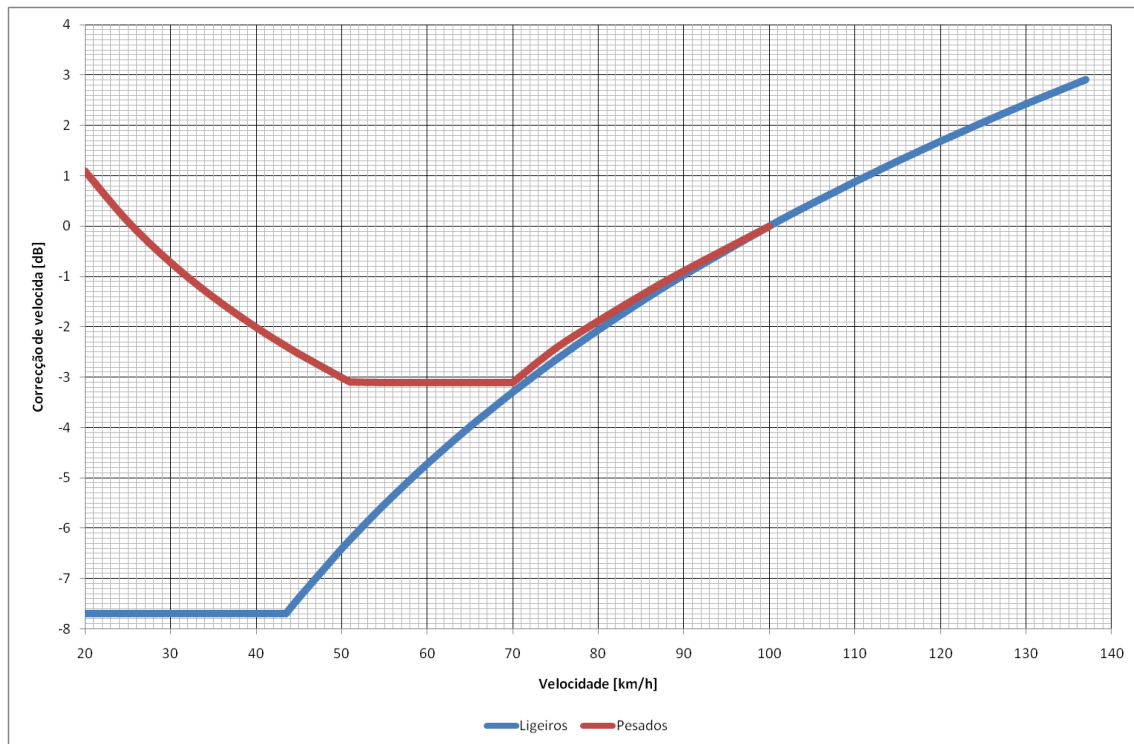
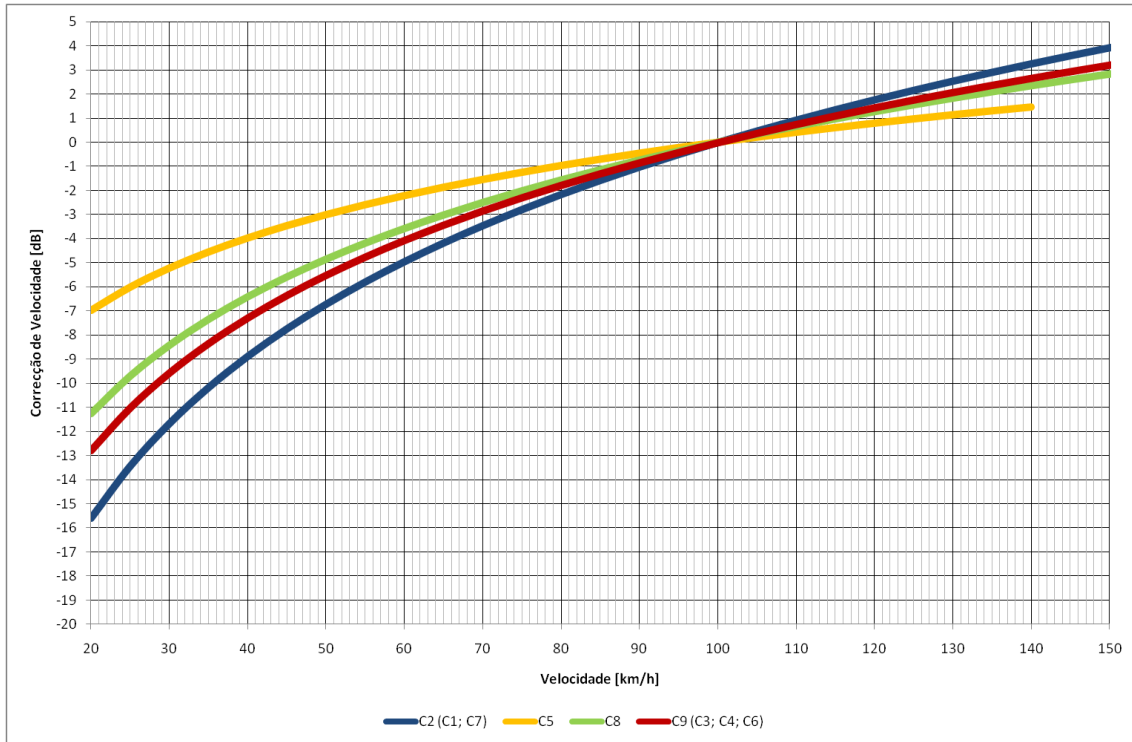
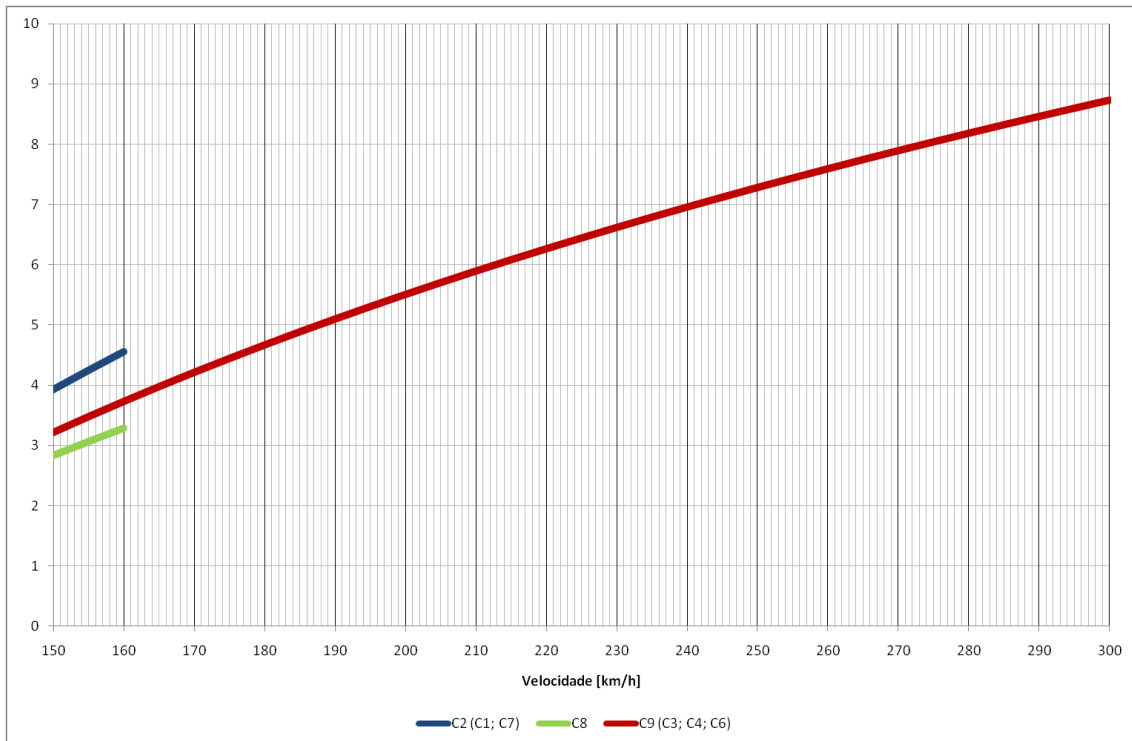


Figura 38: Correção da velocidade para Rodovias



**Figura 39: Correção da velocidade para Ferrovias (20 a 150 km/h)**



**Figura 40: Correção da velocidade para Ferrovias (150 a 300 km/h)**

### 6.1.3.7. Exemplos

Considera-se para todos os exemplos um valor de referência de 45 dB(A) para limitar a Área de Influência Acústica, e valores típicos para as variáveis em causa.

#### Indústrias (Fonte Pontual)

4 Fontes Pontuais com  $L_{Aw} = 101$  dB(A),  $h = 100$  m, Espectro com prevalência de graves [Castanho(A)], sobre um solo absorvente (Alfa = 1) e admitindo PO = 100%.

Usando a equação (20) tem-se:  $L_1 = 101 - 9 + 0 = 92$  dB(A).

Pegando na equação (23) tem-se:  $L_{1Q} = 92 + 10\log(4) \approx 98$  dB(A).

Usando a Figura 32, verifica-se que para uma distância de 500 metros à Fonte tem-se, para o caso em exemplo, uma correcção de  $-53$  dB. Adicionando esta correcção à correcção da equação (24)

$20\log\left(\frac{500}{\sqrt{500^2 + (100-4)^2}}\right) \approx 0$  dB [de notar que a partir de  $3 \times (100-4) = 288$   $C_h \approx 0$ ], tem-se:

$98 - 53 - 0 = 45$  dB(A), ou seja, a Área de Influência Acústica deste exemplo corresponde a cerca de 500 m à volta da Fonte.

#### Rodovias

Tráfego Médio Horário de veículos Ligeiros: 2000 veículos.

Tráfego Médio Horário de veículos Pesados: 100 veículos.

Velocidade de circulação de veículos Ligeiros: 100 km/h.

Velocidade de circulação de veículos Pesados: 90 km/h.

Tipo de pavimento: Normal (0 dB).

PO = 0% e Alfa = 100 %.

A partir da equação (21), tem-se  $L_{1Ligeiros} = 78$  dB(A). Usando a equação (25) tem-se:  $L_{1Pesados} = 87$  dB(A). Utilizando a equação (23) tem-se  $L_{1QLigeiros} = 78 + 3 = 81$  dB(A) e  $L_{1QPesados} = 87 - 10 = 77$  dB(A). Pegando na Figura 38 tem-se  $L_{1QvLigeiros} = 81 + 0 = 81$  dB(A) e  $L_{1QvPesados} = 77 - 1 = 76$  dB(A).

Soma Energética [equação (28)]:  $81 \oplus 76 \approx 82$  dB(A).

A partir da Figura 34, verifica-se que para uma distância de 480 metros à Fonte tem-se, para o caso em exemplo, uma correcção de -37 dB, assim tem-se  $82 - 37 = 45$  dB(A), ou seja, a Área de Influência Acústica deste exemplo corresponde a cerca de 480 m à volta da Fonte.

## **Ferrovias**

Tráfego Médio Horário de C1: 10 veículos.

Tráfego Médio Horário de C6: 20 veículos.

Velocidade de circulação de C1: 80 km/h.

Velocidade de circulação de C6: 100 km/h.

Tipo de estrutura ferroviária: Muito Ruidosa (6 dB).

PO = 50% e Alfa = 0 %.

A partir das equações (22), (26) e (27), tem-se  $L_{1C1} = 76+4 = 80$ dB(A) e  $L_{1C6} = 76+1 = 77$  dB(A).

Pegando na equação (23) tem-se  $L_{1QC1} = 80 - 3 = 77$  dB(A). Utilizando a Figura 39 tem-se:  
 $L_{1QC1} = 77 - 2 = 75$  dB(A).

Soma Energética [equação (28)]:  $75 \oplus 77 \approx 79$  dB(A).

Estrutura Ferroviária:  $79 + 6 = 85$  dB(A).

A partir da Figura 37, verifica-se que para uma distância de 2500 m à Fonte tem-se, para o caso em exemplo, uma correcção de -40 dB, assim tem-se  $85 - 40 = 45$  dB(A), ou seja, a Área de Influência Acústica deste exemplo corresponde a cerca de 2500 m à volta da Fonte.

### **6.1.4. Método de previsão expedita para Vibração Ambiente**

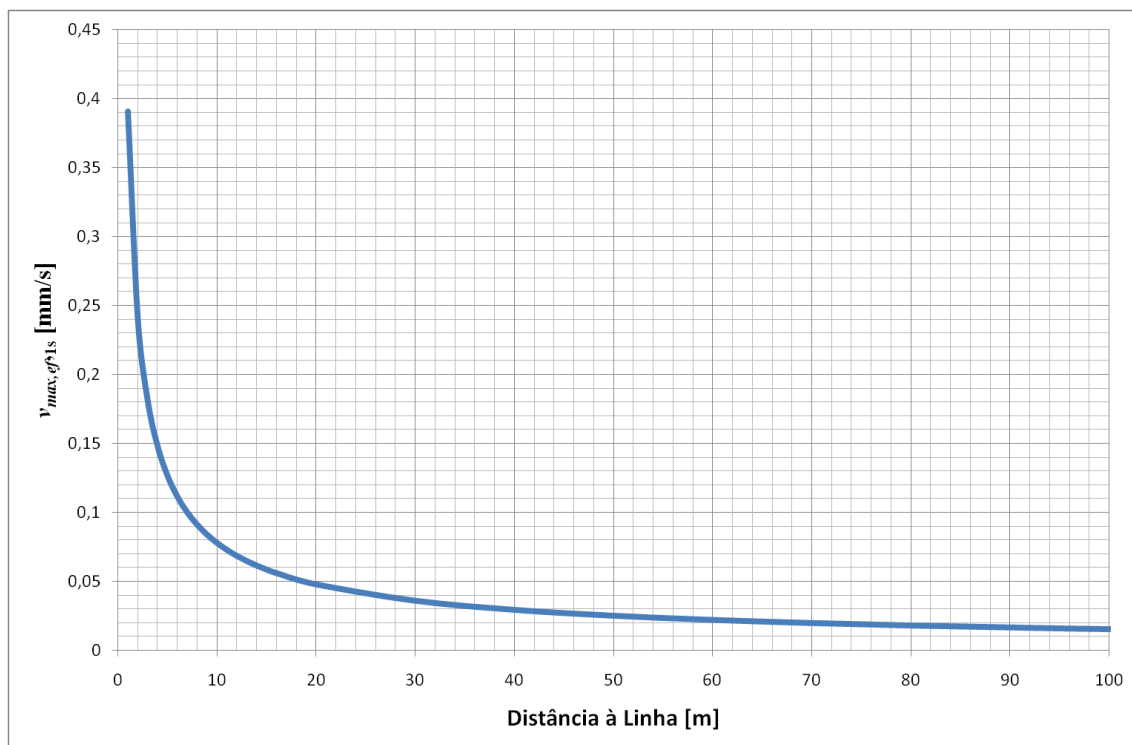
Fazendo uso da equação (15) (capítulo 3.3.1), e utilizando os seguintes valores base:  $v_{ef,0} = 0,03$  mm/s,  $D_{0,vib} = 20$  m,  $F_D = -0,7$ ,  $C_{vib} = C_{0,vib} = 70$  km/h,  $F_C = 0,9$ ,  $F_R = 0,8$  e  $F_B = 2$ , apresenta-se na Figura 41 e na Figura 42 a variação dos valores máximos da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo ( $v_{max,ef,1s}$ ), com a distância à linha, à passagem de um comboio.

Considera-se a Área de Influência Acústica, em termos de Vibração Ambiente, como a distância à

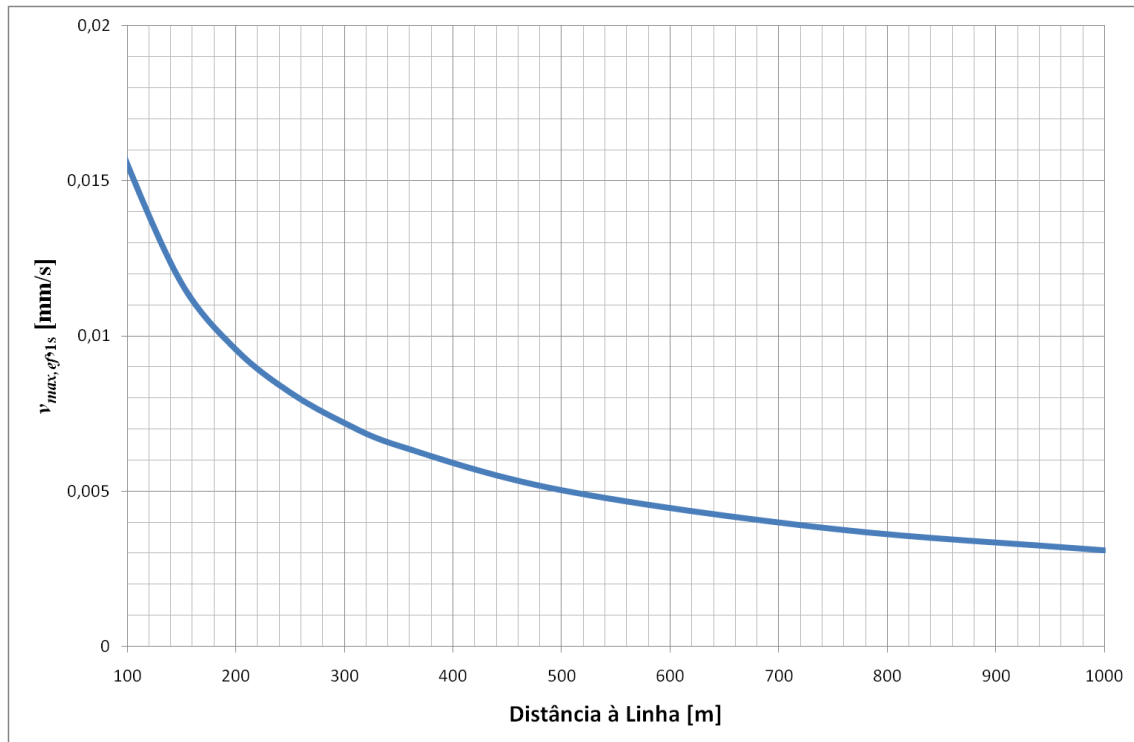
Linha Férrea, para um e para o outro lado, até onde os valores máximos da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo ( $v_{max,ef,1s}$ ), são maiores ou iguais a um, ou mais, valores de referência.

De acordo com o explicitado no capítulo 5.3.2, afigura-se adequado estabelecer os seguintes 4 Valores de Referência para a Área de Influência Acústica em Vibração Ambiente (os Receptores com sensibilidade à vibração e/ou ao ruído estrutural existentes nesta área são denominados por Receptores Potencialmente Afectados):

1. Incomodidade devida à vibração em edifícios com usos comuns com sensibilidade à vibração (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc):  $v_{max,ef,1s} = 0,11$  mm/s;
2. Incomodidade devida à vibração em salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação:  $v_{max,ef,1s} = 0,045$  mm/s;
3. Incomodidade devida ao ruído estrutural em edifícios com usos comuns com sensibilidade ao ruído estrutural (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc):  $v_{max,ef,1s} = 0,030$  mm/s;
4. Incomodidade devida ao ruído estrutural em salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação:  $v_{max,ef,1s} = 0,008$  mm/s.



**Figura 41: Variação de referência dos valores de  $v_{max,ef,1s}$  com a distância à Linha Férrea (1 a 100 m)**



**Figura 42: Variação de referência dos valores de  $v_{max,ef,1s}$  com a distância à Linha Férrea (100 a 1000 m)**

Para Valores de  $v_{ef,0}$  diferentes de 0,03 mm/s (valor base), é necessário calcular o factor multiplicativo a aplicar à Figura 41 e à Figura 42:  $v_{ef,0}/0,03$ .

Por exemplo, para um valor de  $v_{ef,0} = 0,06$  mm/s, temos um factor multiplicativo de 2, ou seja, a 400 m da Linha Férrea é expectável, de acordo com a Figura 42, um valor de  $0,006 \times 2 = 0,012$  mm/s, desde que se mantenham todos os outros valores base.

Para Valores de  $C_{vib}$  diferentes de 70 km/h (valor base) é necessário calcular o factor multiplicativo a aplicar à Figura 41 e à Figura 42:  $(C_{vib}/70)^{0,9}$ .

Por exemplo, para um valor de  $C_{vib} = 90$  km/h, temos um factor multiplicativo de  $(90/70)^{0,9} \approx 1,25$ , ou seja, a 40 m da Linha Férrea é expectável, de acordo com a Figura 41, um valor de  $0,03 \times 1,25 \approx 0,038$  mm/s, desde que se mantenham todos os outros valores base. Caso se tenha também  $V_T = 0,06$  mm/s, ou seja um valor diferente do valor base, temos um factor multiplicativo de  $(0,06/0,03) \times (90/70)^{0,9} \approx 2,5$ , ou seja, a 40 m da Linha Férrea é expectável, de acordo com a Figura 41, um valor de  $0,03 \times 2,5 \approx 0,075$  mm/s, desde que se mantenham os restantes valores base.

Para determinar, por exemplo, a Área de Influência Acústica para um valor de Referência de

0,03 mm/s [Incomodidade devida ao ruído estrutural em edifícios com usos comuns com sensibilidade ao ruído estrutural (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc)], para os seguintes Valores Base:  $v_{ef,0} = 0,02$  mm/s e  $C_{vib} = 80$  km/h, é necessário determinar o factor divisivo:  $(0,02/0,03) \times (80/70)^{0,9} \approx 0,75$ , a aplicar ao Valor de Referência. Assim o Valor de Referência 0,03 mm/s, para os valores base explicitados, corresponde, na Figura 41 e na Figura 42, a  $0,03/0,75 \approx 0,04$  mm/s, ou seja, de acordo com a Figura 41, a Área de Influência Acústica, para os Valores Base definidos, corresponde à área até uma distância de cerca de 24 metros para cada lado da Linha Férrea.

### 6.1.5. Método alternativo de previsão de características tonais

Considere-se o exemplo teórico de uma Fonte sonora irreal que possui características tonais nas Bandas de frequência central de 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, 1600 Hz, 3150 Hz e 6300 Hz, conforme se explicita nos quadros seguintes (Quadro 37 e Quadro 38) (para uma Fonte real que se pretenda modelar dever-se-ão efectuar medições *in situ*, ou possuir dados por Bandas de 1/3 de oitava), respectivamente por Bandas de 1/3 e de 1/1 de oitava.

**Quadro 37: Espectro teórico por Bandas de 1/3 de oitava com características tonais**

Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
dB(A)	80	80	80	88	80	80	88	80	80
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
dB(A)	88	80	80	88	80	80	88	80	80
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
dB(A)	88	80	80	88	80	80	88	80	80
Global	98 dB(A)								

**Quadro 38: Espectro por Bandas de 1/1 de oitava associado ao Espectro do Quadro 37**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB(A)	85	89	89	89	89	89	89	89	89
Global	98 dB(A)								

Substituindo estes valores no modelo (*software* Cadna A/ISO 9613-2: 1996; ver Apêndice A4) e calculando os níveis sonoros para uma distância de 25, 100 e 1000 metros, obtêm-se os seguintes resultados (Quadro 39).

**Quadro 39: Previsões por Bandas de 1/1 de oitava associadas ao Espectro do Quadro 38**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global dB(A)
dB(A) 25 m	49	53	49	49	51	50	50	50	48	60
dB(A) 100 m	37	41	34	34	38	37	37	35	27	47
dB(A) 1000 m	19	23	10	13	17	14	9	-15	-98	28

Estes resultados correspondem às seguintes atenuações por Bandas de 1/1 oitava (valores do Quadro 38 menos valores do Quadro 39).

**Quadro 40: Atenuações por Bandas de 1/1 de oitava associadas às previsões do Quadro 39**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global dB(A)
dB(A) 25 m	36	36	40	40	38	39	39	39	41	38
dB(A) 100 m	48	48	55	55	51	52	52	54	62	51
dB(A) 1000 m	66	66	79	76	72	75	80	104	187	70

Interpolando essas atenuações para Bandas de 1/3 de oitava obtêm-se os valores do Quadro 41.

Afigura-se adequado efectuar uma interpolação linear, da seguinte forma [nas equações utiliza-se o exemplo das Bandas de 1/3 de oitava de 40 Hz e 50Hz, e as associadas Bandas de 1/1 oitava de 31,5 Hz e 63 Hz; as expressões são equivalentes para os seguintes conjuntos de Bandas de frequência (1/3Oitava; 1/1Oitava)]:

- (80 Hz, 100 Hz; 63 Hz, 125 Hz);
- (160 Hz, 200 Hz; 125 Hz, 250 Hz);
- (315 Hz, 400 Hz; 250 Hz, 500 Hz);
- (630 Hz, 800 Hz; 500 Hz, 1000 Hz);
- (1250 Hz, 1600 Hz; 1000 Hz, 2000 Hz);
- (2500 Hz, 3150 Hz; 2000 Hz, 4000 Hz);
- (5000 Hz, 6300 Hz; 4000 Hz, 8000 Hz).

$$A_{40\text{Hz},1/3} = A_{31,5\text{Hz},1/1} + \frac{A_{63\text{Hz},1/1} - A_{31,5\text{Hz},1/1}}{3} \text{ [dB]}$$

$$A_{50\text{Hz},1/3} = A_{31,5\text{Hz},1/1} + 2 \times \frac{A_{63\text{Hz},1/1} - A_{31,5\text{Hz},1/1}}{3} \text{ [dB]}$$

Para o caso particular das Bandas de 1/3 de oitava de 25 Hz e de 10000 Hz, na ausência de valores de referência directos para interpolação, considera-se uma interpolação igual à das Bandas contíguas.

$$A_{25\text{Hz},1/3} = A_{31,5\text{Hz},1/1} - \frac{A_{63\text{Hz},1/1} - A_{31,5\text{Hz},1/1}}{3} \text{ [dB]}$$

$$A_{10000\text{Hz},1/3} = A_{8000\text{Hz},1/1} + \frac{A_{8000\text{Hz},1/1} - A_{4000\text{Hz},1/1}}{3} \text{ [dB]}$$

**Quadro 41: Atenuações por Bandas de 1/3 de oitava associadas às atenuações do Quadro 40**

Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
25 m	36	36	36	36	36	37	39	40	40
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
25 m	40	40	39	39	38	38	39	39	39
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
25 m	39	39	39	39	39	40	40	41	41
Global 25 m	38 dB(A)								
Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
100 m	48	48	48	48	48	50	53	55	55
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
100 m	55	55	54	52	51	51	52	52	52
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
100 m	52	52	53	53	54	57	59	62	62
Global 100 m	51 dB(A)								
Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
1000 m	66	66	66	66	66	70	75	79	78
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1000 m	77	76	75	73	72	73	74	75	77
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1000 m	78	80	88	96	104	132	159	187	187
Global 1000 m	70 dB(A)								

Resultam assim os níveis sonoros por Bandas de 1/3 de oitava que se apresentam no Quadro 42, onde é possível verificar, com base neste método alternativo, se se prevê ou não a permanência das características tonais de emissão sonora para cada caso concreto de distância à Fonte, para as condições modeladas. No exemplo tem-se que se prevê que a 25 e a 100 metros de distâncias de mantenham as características tonais para todas as Bandas de emissão sonora com características tonais.

Para uma distância de 1000 metros prevê-se que deixe de existir característica tonal nas Bandas de 1/3 de oitava de 100 Hz, 3150 Hz e 6300 Hz.

**Quadro 42: Níveis Sonoros resultantes da aplicação das atenuações do Quadro 41**

Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
25 m	44	44	44	<b>52</b>	44	43	<b>49</b>	40	40
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
25 m	<b>48</b>	40	41	<b>49</b>	42	42	<b>49</b>	41	41
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
25 m	<b>49</b>	41	41	<b>49</b>	41	40	<b>48</b>	39	39
Global 25 m	60 dB(A)								
Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
100 m	32	32	32	<b>40</b>	32	30	<b>35</b>	25	25
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
100 m	<b>33</b>	25	26	<b>36</b>	29	29	<b>36</b>	28	28
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
100 m	<b>36</b>	28	27	<b>35</b>	26	23	<b>29</b>	18	18
Global 100 m	47 dB(A)								
Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
1000 m	14	14	14	<b>22</b>	14	10	13	1	2
Hz	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1000 m	<b>11</b>	4	5	<b>15</b>	8	7	<b>14</b>	5	3
Hz	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1000 m	<b>10</b>	0	-8	-8	-24	-52	-71	-107	-107
Global 1000 m	28 dB(A)								

### 6.1.6. Aplicações informáticas

As aplicações informáticas, disponíveis em [e1], foram desenvolvidas recorrendo à linguagem de programação PHP [e13] e às bases de dados MySQL [e14].

O interface com o utilizador do programa foi criado utilizando HTML [e15], Javascript [e16] e CSS [e17], recorrendo ao IDE NetBeans [e18].

Foram desenvolvidas aplicações informáticas para a previsão expedita do Ruído Ambiente Exterior (capítulo 6.1.6.1), tendo por base o explicitado no capítulo 6.1.3, e para a previsão do Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora regular e irregular (capítulo 6.1.6.2), tendo por base o explicitado no capítulo 3.2.1. Foi também transposta para PHP, a base de dados Source dB [e2], associada à emissão sonora de vários equipamentos e Indústrias (ver capítulo 6.1.6.1).

#### 6.1.6.1. Previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior

Apresenta-se na Figura 43 a janela de introdução de dados para Fontes Fixas (Indústrias), na Figura 44 a janela de introdução de dados para Rodovias, e na Figura 45 a janela de introdução de dados para Fontes Fixas.

**Previsões Expeditas** Indústrias ▾

**Determinação Expedita da Área de Influência Acústica de Indústrias**

**Introduza por favor os valores assumidos pelas variáveis com influência na emissão sonora:**

Valor de Referência [dB(A)] [?]

Escolha a fonte a partir da base de dados [?]

Potência Sonora [dB(A)] [?]

Altura da fonte [m] [?]

Número de fontes [?]

Tipo de Ruído Branco ▾

Branco

Castanho

Castanho(A)

**Figura 43: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Indústrias**

**Previsões Expeditas** Rodovias ▾

**Determinação Expedita da Área de Influência Acústica de Infra-Estruturas de Transporte Rodoviário**

**Introduza por favor os valores assumidos pelas variáveis com influência na emissão sonora:**

Valor de Referência [dB(A)] [?]

Tráfego Médio Horário de Veículos Ligeiros  [?] [h<sup>-1</sup>]

Velocidade de Circulação de Veículos Ligeiros  [?] [km/h]

Tráfego Médio Horário de Veículos Pesados  [?] [h<sup>-1</sup>]

Velocidade de Circulação de Veículos Pesados  [?] [km/h]

Tipo de Pavimento:

Pavimento Liso Tradicional ▾

Pavimento Muito Menos Ruidoso

Pavimento Menos Ruidoso

Pavimento Liso Tradicional

Pavimento Mais Ruidoso

Pavimento Muito Mais Ruidoso

**Figura 44: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Rodovias**

**Previsões Expeditas** Ferrovias ▾

**Determinação Expedita da Área de Influência Acústica de Infra-Estruturas de Transporte Ferroviário**

**Introduza por favor os valores assumidos pelas variáveis com influência na emissão sonora:**

Valor de Referência [dB(A)] [?]

Categoria	Tráfego Médio Horário [h <sup>-1</sup> ]	Velocidade de Circulação [km/h]
C1	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C2	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C3	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C4	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C5	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C6	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C7	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C8	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]
C9	<input type="text"/> [?]	<input type="text"/> [?]

Tipo de Estrutura Ferroviária:

Normal ▾

**Figura 45: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Ferrovias**

A adaptação da base de dados Source dB a PHP, pode ser acedida através de botão, explicitado na Figura 43, onde está escrito “Escolha a fonte a partir da base de dados”.

### 6.1.6.2. Previsão do Tempo de Reverberação

Apresenta-se na Figura 46 a janela de introdução de dados da aplicação informática desenvolvida para a previsão do Tempo de Reverberação. Salienta-se que se considera, por simplicidade, a ausência de objectos (espaços vazios;  $\Psi = 0$ ), uma Humidade Relativa de 60% e uma Temperatura de 20°C. Salienta-se também que no cálculo do Tempo de Reverberação para Absorção Sonora regular, é tido em conta a Área de Absorção Sonora Equivalente do ar ( $A_{air}$ ), o que não é normalmente tido em conta na fórmula clássica de Sabine [15,16].

<b>Divisão</b>															
Descrição: [?]	<input type="text"/>														
Comprimento (L)*: [?]	<input type="text"/>														
Largura (B)*: [?]	<input type="text"/>														
Altura (H)*: [?]	<input type="text"/>														
Volume da divisão vazia:	<input type="text"/>														
Temperatura:	<input type="text" value="20"/>														
Humidade:	<input type="text" value="0.6"/>														
<b>Parede 1</b>															
Área*:	<input type="text"/>														
Eixo* :	<input type="text" value="x"/>														
Face:	<input type="text" value="X = 0"/>														
Coeficiente de Absorção Sonora*: [?] <input type="text"/> >>	<table border="1"> <tr> <td>125Hz</td><td>250Hz</td><td>500Hz</td><td>1000Hz</td><td>2000Hz</td><td>4000Hz</td><td>8000Hz</td> </tr> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> </table>	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz								
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>									
Coeficiente de Dispersão Sonora*: [?] <input type="text"/> >>	<table border="1"> <tr> <td>125Hz</td><td>250Hz</td><td>500Hz</td><td>1000Hz</td><td>2000Hz</td><td>4000Hz</td><td>8000Hz</td> </tr> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> </table>	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz									
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>									

Figura 46: Janela de entrada da aplicação informática de previsão do Tempo de Reverberação

## 6.2. Medição

### 6.2.1. Introdução

Apresentam-se desenvolvimentos particulares inovadores, nomeadamente:

1. Estudo do ruído devido à passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação (capítulo 6.2.2), que obtém informação julgada importante, não constante nas referências conhecidas sobre a matéria [144-146], que pode ajudar a uma possível Regra de Boa Prática futura para o ruído das juntas de dilatação em Portugal, nomeadamente a maior variação dos níveis sonoros

com a velocidade de circulação  $v$  dos veículos na forma de cerca de  $50\log(v_2/v_1)$ , a variação dos níveis sonoros com a massa  $m$  dos veículos na forma de cerca de  $10\log(m_2/m_1)$ , e uma maior amplitude da variação dos níveis sonoros em dB(C) do que em dB(A), à passagem do mesmo veículo, o que pode indiciar uma maior adequação de medições em dB(C) (o Guia [145] estabelece medições em dB(A)).

2. Método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos (capítulo 6.2.3), que usa a variação teórica dos Níveis Sonoros à passagem, e a linearização dessas variação para determinação da velocidade de passagem, no sentido de se poder vir a definir uma forma objectiva, e automática, de aceitação, ou não aceitação, dos valores máximos efectivamente representativos da passagem isolada de um veículo a velocidade constante, que possa facilitar e minimizar as incertezas associadas ao procedimento actual baseado na sensibilidade do técnico durante a medição.
3. Método de contagem de tráfego e de medição de velocidade (capítulo 6.2.4), especialmente direccionado para a modelação de ruído, na medida em que a selecção (possivelmente automática no futuro) do tipo de veículo, está associada aos níveis de ruído produzidos pelo mesmo, em 2 Sonómetros, e à comparação desses níveis com os valores constantes nas bases de dados de modelação de tráfego rodoviário, para a velocidade determinada *in situ* através da diferença de tempo entre os níveis sonoros máximos, nos dois Sonómetros que se encontram a distância constante conhecida.
4. Método de monitorização do ruído de tráfego ferroviário (capítulo 6.2.5), onde são explicitadas factores julgados importantes e que não constam nas normas [5,6], nomeadamente o facto de dever ser possível caracterizar menos do que 20 comboios (desde que justificado com a expressão das respectivas incertezas da medição), a expressão que permite o cálculo do  $L_{eq}$  Global com base nos níveis sonoros das passagens individuais, a influência do tempo de medição, em cada passagem, no  $L_{eq}$  Global, e a forma de determinação de quais as categorias de comboios com maior influência não só no  $L_{eq}$  Global mas também na incerteza global.
5. Método de medição do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão (capítulo 6.2.6), assente no conceito de Ruído Aéreo de Máquina de Percussão como sendo apenas o ruído aéreo radiado directamente pela máquina, pelo que a eventual necessidade e possibilidade do uso generalizado deste método, que não se encontra em nenhuma outra referência, carece da confirmação prévia da validade do conceito referido. Na medição exemplificativa do método

foi usada Fonte Sonora Dodecaédrica desenvolvida no presente trabalho.

## **6.2.2. Juntas de dilatação**

Segundo informação recolhida junto da EP (Estradas de Portugal, S.A.), e de algumas concessionárias rodoviárias, existe um número não negligenciável de queixas devidas especificamente ao ruído da passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação, que fazem com que se apresente relevante o estudo deste problema, conforme tem vindo a ocorrer noutros países, em especial na Holanda [144], existindo inclusive um Guia Holandês [145], relativamente recente (2006), para a limitação do ruído das juntas de dilatação.

Afigura-se adequado, para um estudo abrangente do problema, considerar pelo menos as seguintes 5 partes fundamentais:

- 1- Variáveis físicas com influência e sua relação com os níveis sonoros produzidos;
- 2- Características específicas da emissão/propagação sonora;
- 3- Relação dos níveis sonoros apercibidos com a incomodidade experimentada e com os limites legais;
- 4- Medidas de redução de ruído direccionadas;
- 5- Especificidades da monitorização acústica associada.

### **6.2.2.1. Variáveis físicas com influência e sua relação com os níveis sonoros produzidos**

Considera-se adequado assumir, à partida, que são as seguintes as principais variáveis com influência:

1. Tipo de junta de dilatação: Trata-se de uma variável que será abordada no presente desenvolvimento apenas de forma específica, através dos resultados de medições *in situ* em 3 juntas de dilatação localizadas em 3 locais distintos. De notar que não se possui, pelo menos de forma consolidada, informação sobre os diferentes tipos de juntas de dilatação existentes em Portugal, pelo que não é possível, nesta fase, dizer se as juntas caracterizadas se enquadram nas tipologias mais ou menos ruidosas nem se correspondem a tipos de juntas usados recorrentemente ou de forma esporádica. Considera-se ser de acrescentar que, de acordo com as referências [144,146], podem ocorrer diferenças até 15 dB(A), em função do tipo de junta

(incluindo tipo de caixa-de-ar), tendo sido obtido, no presente trabalho, uma diferença de cerca de 9 dB entre a junta de dilatação mais e menos ruidosa caracterizada (capítulo 6.2.2.13).

2. Tipo de veículo rodoviário: Trata-se de uma variável que será abordada no presente trabalho de forma geral, em termos de princípios gerais do ruído de impacto, e de forma específica, através dos resultados de medições *in situ* com 2 veículos Ligeiros e 1 veículo Pesado.
3. Velocidade de circulação dos veículos: Trata-se de uma variável que será abordada no presente desenvolvimento de forma geral, em termos de princípios gerais do ruído de impacto, e de forma específica, através dos resultados de medições *in situ* com controlo da velocidade dos 2 veículos Ligeiros e do veículo Pesado.

### **6.2.2.2. Características específicas da emissão e da propagação sonora**

No presente trabalho não serão abordadas, de forma mais aprofundada, as características específicas da emissão e da propagação sonora associadas ao ruído da passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação, sendo referidos apenas os seguintes aspectos gerais:

- Directividade: Deverá ser tido especial cuidado, em desenvolvimentos subsequentes, na obtenção da directividade horizontal e vertical deste tipo de ruído, pois afigura-se, à partida, deverem existir diferenças significativas de emissão e de propagação em diferentes direcções. De referir, a título de exemplo, o estabelecido no capítulo “II.2.6 Source directivity” da referência [56] e no capítulo “3 State of the art of directivity” da referência [147].
- Método de cálculo: Deverá ser tido especial cuidado no uso de métodos de cálculo associados a Fontes não impulsivas, como seja o método da norma [28], ou o método da norma [4], pois existem características específicas associadas aos ruídos impulsivos que podem fazer com que esses métodos não sejam válidos, conforme indicado, por exemplo, nas normas [148,149].

### **6.2.2.3. Relação dos níveis sonoros apercibidos com a incomodidade experimentada e com os limites legais**

No presente desenvolvimento não será abordada de forma aprofundada a relação entre os níveis sonoros apercibidos e a incomodidade experimentada, sendo apenas evidenciado (no capítulo “6.2.2.14 Influência dos níveis sonoros individuais impulsivos no nível sonoro global”), com base nos resultados das medições e nos requisitos acústicos legais em vigor para Rodovias [10], que o ruído da

passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação contribui muito pouco, dentro do valor de incerteza típica das medições e das previsões rodoviárias normais, para a média energética anual estabelecida na legislação, o que denuncia a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as relações dose-efeito aplicáveis e, à partida, a necessidade de complementação dos requisitos acústicos legais (ou regras de boa prática), para poderem contemplar devidamente este tipo de incomodidade. Apresenta-se, no capítulo 6.2.2.14, face aos resultados obtidos, uma sugestão de limitação que deverá ser aferida em desenvolvimentos subsequentes (dada esta necessidade de aferição esta sugestão não se encontra contemplada no capítulo 5.1.2).

#### **6.2.2.4. Medidas de redução de ruído direccionadas**

Conforme referido no capítulo “6.2.2.1 Variáveis físicas com influência e sua relação com os níveis sonoros produzidos”, podem ocorrer diferenças de até 10 dB(A), em função do tipo de junta de dilatação, pelo que a selecção de juntas de dilatação menos ruidosas pode corresponder a uma medida de redução de ruído eficaz. Referem-se, a título de exemplo as juntas de dilatação tipo AGFLEX da AGOM [e19], ou TENSA®GRIP SILENT da MAGEBA [e20], ou ainda o sistema GU das juntas de dilatação da MAURER SÖHNE [e21].

A redução de ruído das soluções referidas é conseguida de forma distinta: no sistema AGFLEX é usada uma cobertura de borracha e um desenho otimizado da junta de dilatação, no caso do TENSA®GRIP SILENT são usadas placas metálicas rômbricas, e no caso da MAURER SÖHNE (sistema GU) é utilizado um sistema de Absorção Sonora localizado na caixa-de-ar, por baixo da junta de dilatação.

De referir que apesar das Barreiras Acústicas usuais poderem ser uma solução de redução válida para este tipo de ruído, chama-se a atenção para o facto da sua eficácia poder não ser devidamente determinada pelos métodos comuns de modelação de ruído de tráfego rodoviário, dadas as características impulsivas do ruído em causa.

Estudos mais pormenorizados da relação dose-efeito deste tipo de ruído poderão conduzir a outras soluções direccionadas e optimizadas.

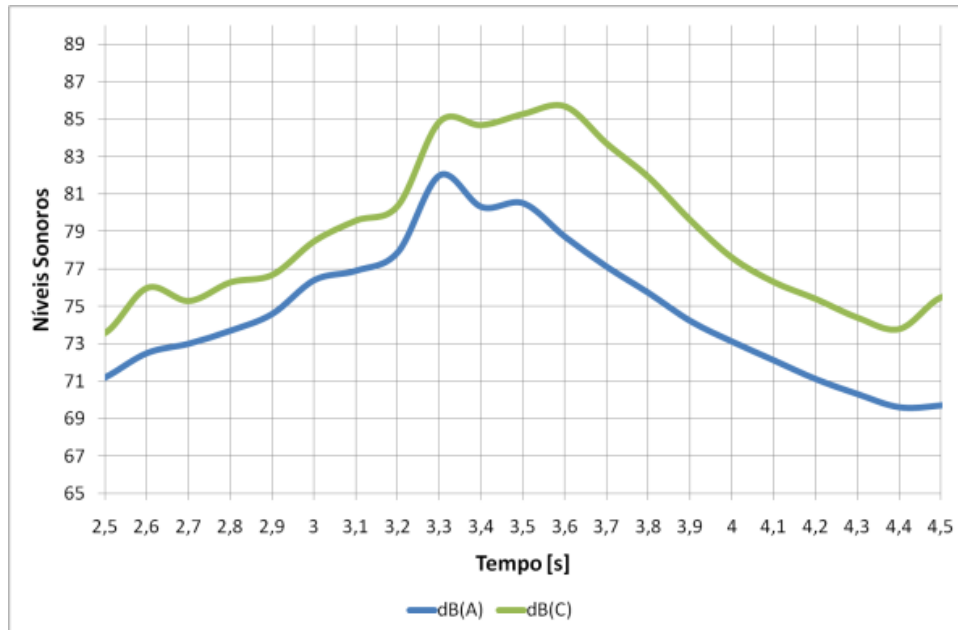
#### **6.2.2.5. Especificidades da monitorização acústica associada**

Uma vez que as formas de monitorização habituais estão direccionadas para a verificação do cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais, e uma vez que os requisitos acústicos legais

actuais não são, aparentemente, suficientes para contemplar devidamente a incomodidade associada a este tipo de ruído (como se procura demonstrar no capítulo “6.2.2.14 Influência dos níveis sonoros individuais impulsivos no nível sonoro global”), é necessário estabelecer métodos diferenciados de caracterização deste tipo de ruído.

Considera-se ser de salientar, face aos resultados obtidos nas medições efectuadas no âmbito do presente desenvolvimento, ser importante que futuras medições do ruído de passagem de veículos sobre juntas de dilatação, por exemplo no âmbito de planos de monitorização, incluam a caracterização por Bandas de 1/3 de oitava dos níveis sonoros de 125 ms em 125 ms (ou menos), pois isso permitirá uma maior possibilidade de análise futura, na presença de novos desenvolvimentos que, eventualmente, venham a especificar um método de análise, e/ou de limitação, associado a um determinado parâmetro e/ou a uma dada ponderação em frequência (de referir que o Anexo B da norma [5] indica a ponderação C para a caracterização de alguns ruídos impulsivos). Se for medido, por exemplo, apenas o valor máximo, por Bandas de frequência, para uma dada ponderação em frequência, não vai ser possível conhecer o valor de outro parâmetro nem sequer o valor máximo para outra ponderação em frequência, pois podem não ser coincidentes os instantes de ocorrência dos valores máximos para diferentes ponderações em frequência, como se exemplifica na Figura 47 [no exemplo, o máximo associado à passagem na junta ocorre aos 3,3 segundos, para os valores em dB(A), e aos 3,6 segundos para os valores em dB(C); faz-se notar ainda que, antes da passagem sobre a junta, a diferença entre dB(C) e dB(A) é cerca de 2 dB e depois da passagem na junta passa a ser cerca de 6 dB].

A monitorização deverá incidir, como normalmente acontece para outros casos, sobre os Receptores com sensibilidade ao ruído mais próximos das juntas de dilatação, com especial necessidade de auscultação da sensibilidade dessas pessoas [134], dada a pouca informação actual sobre a adequada relação dose-efeito. Deverá o técnico explicitar, durante as medições/auscultações, qual a sua sensibilidade auditiva relativamente ao ruído da passagem de veículos sobre a junta de dilatação (distinguindo pelo menos se é ou não, para si, perceptível o ruído) e distinguindo pelo menos veículos Ligeiros e Pesados. Deverá também ser registada, paralelamente ao registo dos níveis sonoros, a velocidade de circulação dos veículos (Ligeiros e Pesados) aquando da passagem sobre a junta de dilatação e, se existir reclamação, a confrontação dessas velocidades com as velocidades alegadamente praticadas normalmente segundo o reclamante.

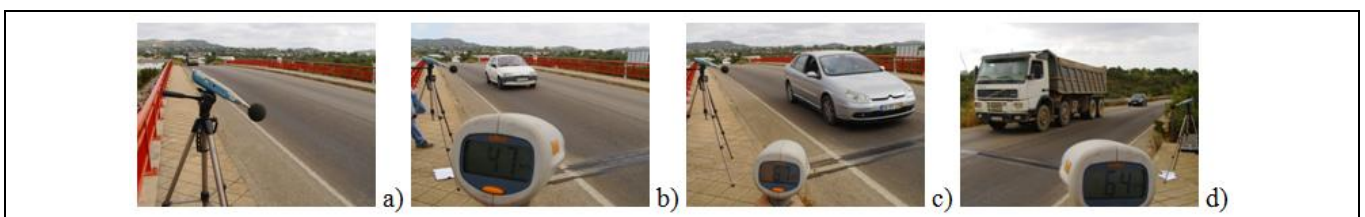


**Figura 47: Variação dos níveis sonoros à passagem de veículo sobre junta de dilatação, em dB(A) e dB(C)**

### 6.2.2.6. Equipamento utilizado nas medições

Nas medições realizadas no âmbito do presente desenvolvimento foram utilizados os seguintes equipamentos e veículos, cujos apontamentos fotográficos se apresentam na Figura 48:

1. Sonómetro integrador de Classe 1, da marca RION e modelo NA27, através do qual se registaram os níveis sonoros;
2. Velocímetro (radar de velocidade) Bushnell, para medição da velocidade de circulação efectiva dos veículos na passagem sobre a junta de dilatação;
3. Ford Fiesta, de 1992, com tara de 870 kg, doravante designado apenas por Fiesta;
4. Citroen C5, de 2005, com tara de 1500 kg, doravante designado apenas por C5;
5. Volvo FM12, de 1999, com tara de 14540 kg, doravante designado apenas por FM12.



**Figura 48: Apontamentos fotográficos: a) Sonómetro, b) radar e Fiesta, c) radar e C5, d) radar e FM12**

### 6.2.2.7. Teoria e medições de ruído de impacto em laboratório

Assumindo que o ruído de impacto está associado à conversão da Energia Cinética do movimento dos corpos em Energia Sonora, pode-se escrever, à partida e de forma simplista (desprezando, por simplicidade, a conversão em outras formas de energia), que a Intensidade Sonora  $I$  deverá ser proporcional à Energia Cinética do movimento, ou seja:

$$I \cong \frac{1}{2} m v^2$$

onde  $m$  [kg] corresponde à massa do objecto e  $v$  [m/s] à sua velocidade. Tal relação é equivalente à seguinte, onde a Intensidade Sonora é convertida em Nível Sonoro,  $L$ :

$$L \cong 10 \log[(\frac{1}{2} m v^2)/I_0]$$

Variando apenas a massa do objecto, resulta a estimativa de uma variação dos níveis sonoros na seguinte proporção:

$$10 \log(M)$$

Ou seja, o duplicar da massa deverá implicar o aumento de 3 dB nos níveis sonoros.

Variando apenas a velocidade do objecto, resulta a estimativa de uma variação dos níveis sonoros na seguinte proporção:

$$20 \log(v)$$

Ou seja, o duplicar da velocidade deverá implicar o aumento de 6 dB nos níveis sonoros.

Em termos de área de contacto/choque ( $a_c$ ), para a mesma massa e para a mesma velocidade, dada a relação directa da área com a Intensidade Sonora, estima-se uma variação dos níveis sonoros na seguinte proporção:

$$10 \log(a_c)$$

Ou seja, o duplicar da área de choque deverá implicar o aumento de 3 dB nos níveis sonoros.

Para confirmar ou infirmar estas relações teóricas simplistas, foram realizadas medições de ruído do impacto associado a deixar cair objectos, com diferente massa e diferente área de contacto, de diferentes alturas (diferentes velocidades de choque), sobre a mesma superfície, cujos resultados se apresentam em seguida.

As massas, áreas de choque e velocidades de choque utilizadas foram as seguintes:  $M_1 = 125\text{g}$ ,  $M_2 = 250\text{g}$  e  $M_3 = 500\text{g}$ ;  $a_{c1} = 0,006\text{ m}^2$  e  $a_{c2} = 0,016\text{ m}^2$ ;  $v_1 = 0,45\text{ m/s}$ ,  $v_2 = 0,9\text{ m/s}$  e  $v_3 = 1,8\text{ m/s}$ .

Foram efectuadas 54 medições associadas à realização de 3 medições para cada uma das seguintes 18 combinações:  $(m_1, v_1, a_{c1})$   $(m_1, v_2, a_{c1})$   $(m_1, v_3, a_{c1})$   $(m_2, v_1, a_{c1})$   $(m_2, v_2, a_{c1})$   $(m_2, v_3, a_{c1})$   $(m_3, v_1, a_{c1})$   $(m_3, v_2, a_{c1})$   $(m_3, v_3, a_{c1})$   $(M_1, v_1, a_{c2})$   $(M_1, v_2, a_{c2})$   $(M_1, v_3, a_{c2})$   $(M_2, v_1, a_{c2})$   $(M_2, v_2, a_{c2})$   $(M_2, v_3, a_{c2})$   $(M_3, v_1, a_{c2})$   $(M_3, v_2, a_{c2})$   $(M_3, v_3, a_{c2})$ .

Em termos médios foram obtidas as seguintes relações de variabilidade dos níveis sonoros, em função da massa  $m$ , da área de choque  $a$  e da velocidade de choque  $v$ :

$$L \cong 5 \log(M)$$

$$L \cong 12 \log(a_c)$$

$$L \cong 8 \log(Ma_c)$$

$$L \cong 26 \log(v)$$

Estes valores revelam uma maior variação em função da velocidade (conforme previsto teoricamente) e uma menor variação em função da massa (não previsto teoricamente). De notar que estes valores são apenas indicativos e podem não ser extensíveis ao ruído de impacto da passagem de veículos sobre juntas de dilatação, dadas as maiores massas, áreas e velocidade em causa.

### 6.2.2.8. Medições *in situ*

Foram efectuadas medições em 3 juntas de dilatação, designadas por Junta 1, Junta 2 e Junta 3, cujos apontamentos fotográficos e localizações em fotografia aérea (*Google Earth*) são apresentados nas Figuras 49, 50 e 51.

Na Junta 1 foram efectuadas medições em 1 ponto em linha com a junta, à passagem dos 3 veículos (Fiesta, C5 e FM12) a diferentes velocidades (de acordo com o velocímetro dos veículos: 50 km/h e 70km/h, para os 3 veículos, e também 90 km/h para o Fiesta e C5), o que permite analisar a variabilidade para as diferentes velocidades e para os diferentes veículos.

Na Junta 2 e na Junta 3 foram efectuadas medições em 1 ponto em linha com a junta, à passagem apenas do C5 a diferentes velocidades (de acordo com o velocímetro: 50 km/h e 70 km/h, para as 2 juntas, e também 90 km/h na Junta 2), o que permite analisar a variabilidade para as diferentes juntas e para as diferentes velocidades, mas apenas para o veículo C5.

Na Junta 3 foram efectuadas também medições em 1 ponto à mesma distância da via mas não em linha com a junta, à passagem apenas do C5 a diferentes velocidades (de acordo com o velocímetro: 50 km/ e 70 km/h), o que permite comparar a curva de passagem com e sem junta.

Em todas as medições foram caracterizados 3 vezes o mesmo veículo e a mesma velocidade.

Em cada uma das passagens foi determinada a velocidade efectiva de passagem através do velocímetro Bushnell.

Em cada uma das passagens foram registados os níveis sonoros, por Bandas de 1/3 de oitava, de 100ms em 100ms, sendo retirado, dessa variação, o valor máximo em dB(A) e o valor máximo em dB(C). No caso da Junta 3 foi ainda obtido o  $L_{eq}$ , em dB(A) e dB(C), com e sem o efeito da junta de dilatação.



**Figura 49: Apontamento fotográfico da Junta 1 e sua localização geográfica**



**Figura 50: Apontamento fotográfico da Junta 2 e sua localização geográfica**



**Figura 51: Apontamento fotográfico da Junta 3 e sua localização geográfica**

### 6.2.2.9. Influência do tipo de veículo

Apresentam-se na Figura 52, em função do logaritmo da massa [kg] dos veículos testados na Junta 1, os valores máximos dos níveis sonoros [dB(A) e dB(C)] obtidos.

As regressões lineares obtidas apontam para as seguintes relações de variação:

1. 50 km/h:  $L \cong 11 \log(M)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong 10 \log(M)$ , para os valores em dB(C).
2. 70 km/h:  $L \cong 9 \log(M)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong 11 \log(M)$ , para os valores em dB(C).
3. 90 km/h:  $L \cong 7 \log(M)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong -4 \log(M)$ , para os valores em dB(C).

Verifica-se, assim, que apesar do Fiesta ser cerca de 2 vezes mais leve do que o C5, os níveis sonoros são menores para o C5 do que para o Fiesta, para os 50 km/h em dB(A) e para todas as velocidades em dB(C), o que revela a influência de outra(s) variável(eis) para além da massa e da área de choque (a largura dos pneus do C5 é maior do que a largura dos pneus do Fiesta), eventualmente o tipo de suspensão do veículo e/ou o tipo de pneu/pressão. Para as velocidades em que foi possível testar o FM12 (50 km/h e 70 km/h), o qual possui uma massa cerca de 10 vezes superior ao C5 e 17 vezes superior ao Fiesta, a variação é praticamente independente da ponderação em frequência e é próxima da variação prevista teoricamente [ $10\log(M)$ ] e da variação obtida em laboratório em função da massa vezes a área de choque ( $Ma_c$ ).

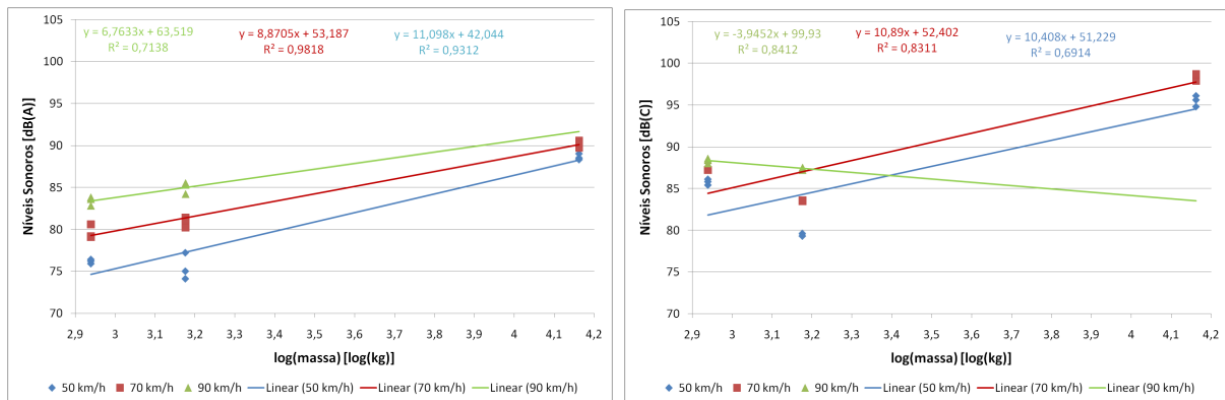


Figura 52: Níveis sonoros em função da massa de cada veículo [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 1)

### 6.2.2.10. Influência da velocidade na Junta 1

Apresentam-se na Figura 53, em função do logaritmo das velocidades [km/h] efectivas (Bushnell) testadas, os valores máximos dos níveis sonoros [dB(A) e dB(C)] obtidos, para cada um dos veículos testados na Junta 1.

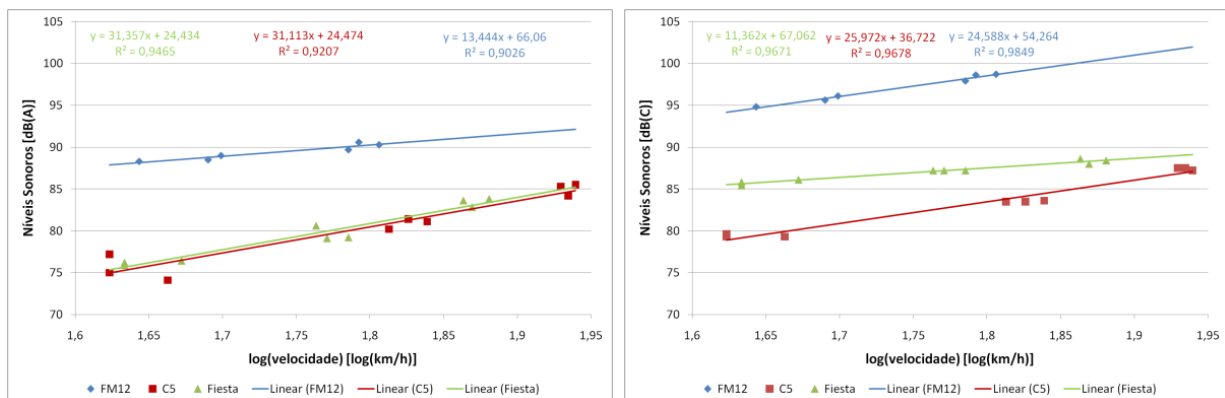


Figura 53: Níveis sonoros em função da velocidade de cada veículo [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 1)

As regressões lineares obtidas apontam para as seguintes relações de variação:

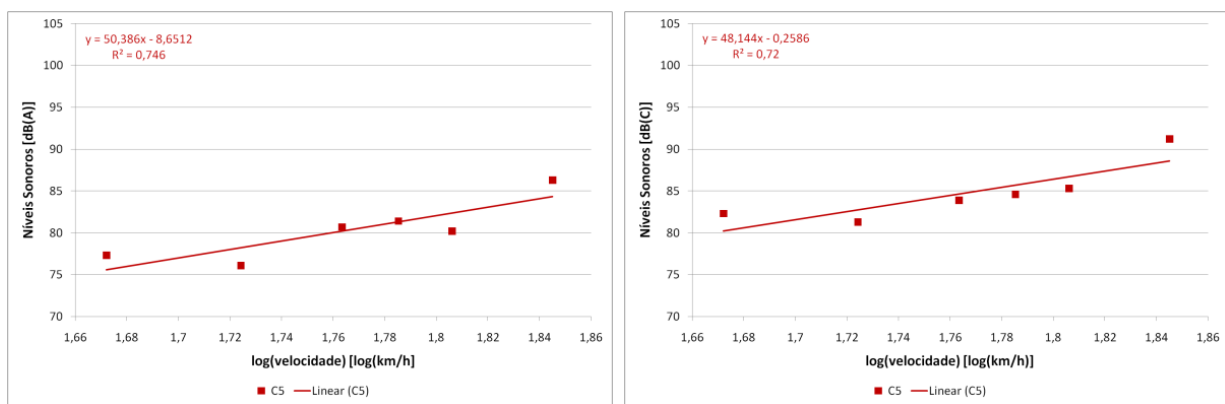
1. Fiesta:  $L \cong 31 \log(v)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong 11 \log(v)$ , para os valores em dB(C).
2. C5:  $L \cong 31 \log(v)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong 26 \log(v)$ , para os valores em dB(C).
3. FM12:  $L \cong 13 \log(v)$ , para os valores em dB(A);  $L \cong 25 \log(v)$ , para os valores em dB(C).

Verifica-se, assim, existirem diferenças significativas, para o mesmo veículo, entre as relações de variação para valores em dB(A) e em dB(C), sendo semelhantes as variações para o Fiesta e para o C5,

para os valores em dB(A), e para o C5 e para o FM12, para os valores em dB(C), o que se pode ficar a dever a factores não controlados, como seja o tipo de suspensão dos veículos e/ou o tipo de pneus e/ou pressão dos pneus.

### 6.2.2.11. Influência da velocidade na Junta 2

Apresentam-se na Figura 54, em função do logaritmo das velocidades [km/h] efectivas (Bushnell) testadas, os valores máximos dos níveis sonoros [dB(A) e dB(C)] obtidos, para o veículo C5 testado na Junta 2.



**Figura 54: Níveis sonoros em função da velocidade do C5 [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 2)**

As regressões lineares obtidas apontam para as seguintes relações de variação (veículo C5):

1.  $L \cong 50 \log(v)$ , para os valores em dB(A);
2.  $L \cong 48 \log(v)$ , para os valores em dB(C).

Verifica-se, assim, serem semelhantes, para o C5 e para a Junta 2, as relações de variação para os valores em dB(A) e dB(C). Verifica-se ainda, comparando com as relações de variação obtidas para a Junta 1, existir uma significativa diferença.

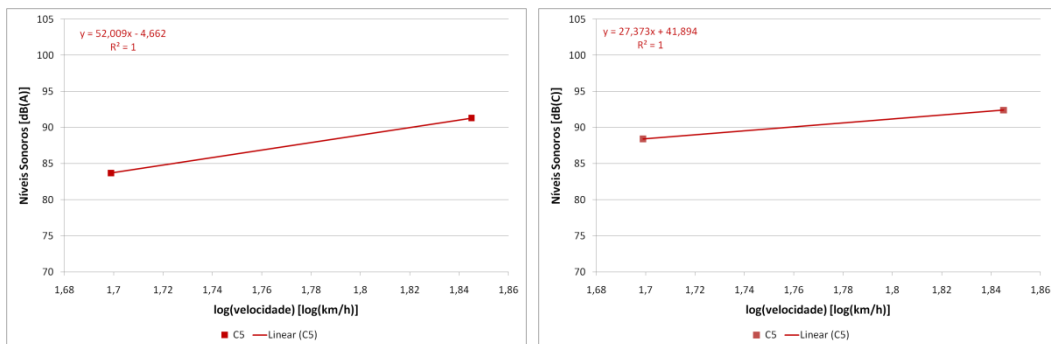
### 6.2.2.12. Influência da velocidade na junta 3

Apresentam-se na Figura 55, em função do logaritmo das velocidades [km/h] efectivas (Bushnell) testadas, os valores máximos dos níveis sonoros [dB(A) e dB(C)] obtidos, para o veículo C5 testado na Junta 3.

As regressões lineares obtidas apontam para as seguintes relações de variação (veículo C5):

1.  $L \cong 52 \log(v)$ , para os valores em dB(A);
2.  $L \cong 27 \log(v)$ , para os valores em dB(C).

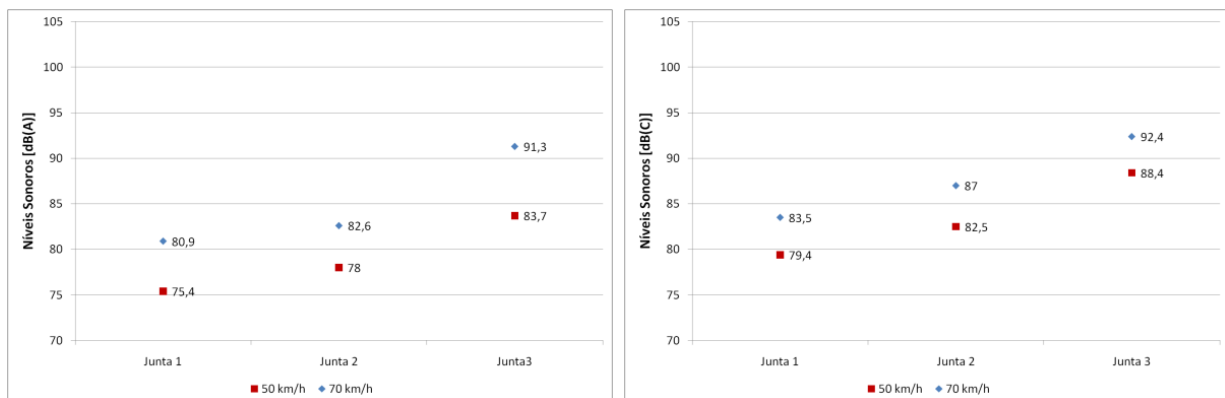
Verifica-se, assim, serem diferentes, para o C5 e para a Junta 3, as relações de variação para os valores em dB(A) e dB(C). Verifica-se ainda, comparando com as relações de variação obtidas para a Junta 2, existir semelhança entre as relações de variação, em dB(A), para a Junta 2 e para a Junta 3.



**Figura 55: Níveis sonoros em função da velocidade do C5 [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 3)**

### 6.2.2.13. Comparação Junta 1, Junta 2 e Junta 3

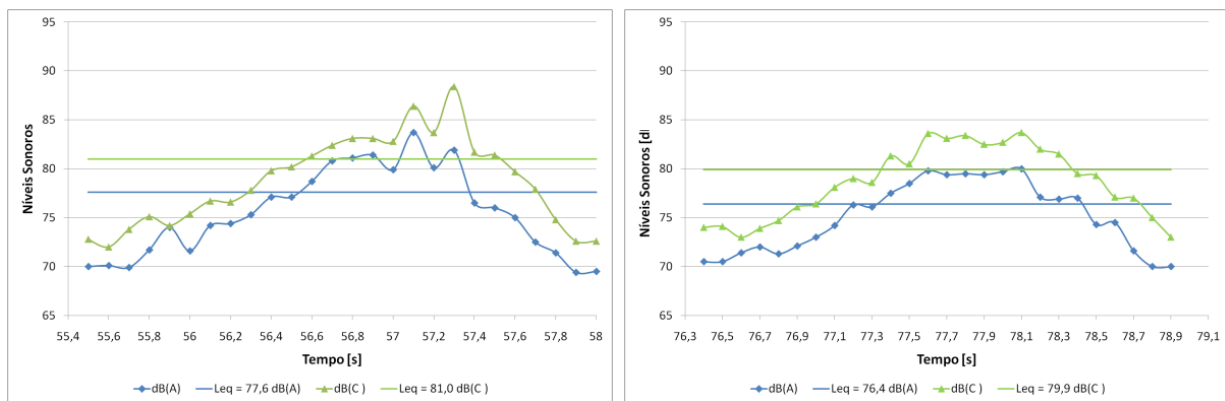
Apresentam-se na Figura 56 os valores médios dos valores máximos obtidos para as velocidades de 50 km/h e 70 km/h, na Junta 1, na Junta 2 e na Junta 3, para a passagem do C5, onde é possível constatar que, de acordo com as medições efectuadas, a junta de dilatação mais ruidosa corresponde à Junta 3 e a menos ruidosa à Junta 1. As conclusões são semelhantes para os valores em dB(A) e dB(C), verificando-se uma variação média de cerca de 9 dB entre a Junta 1 e a Junta 3.



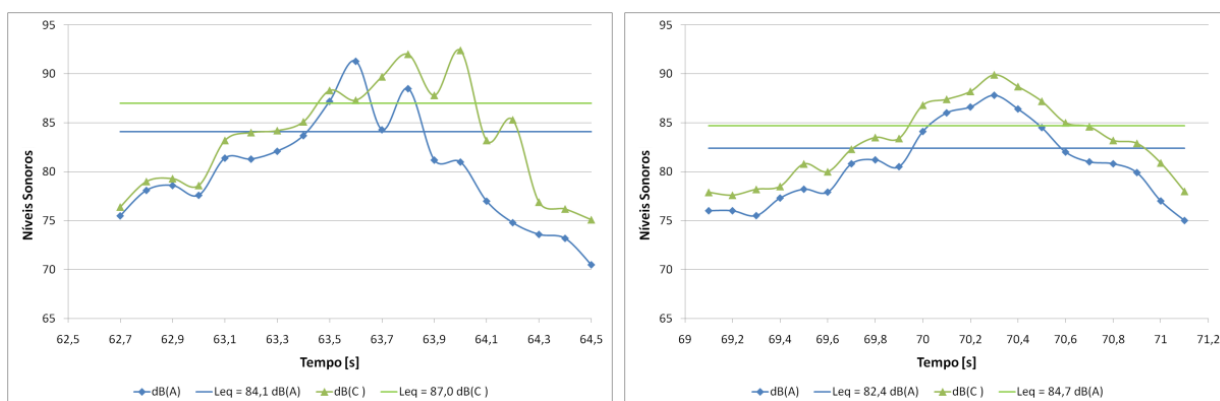
**Figura 56: Níveis sonoros nas 3 juntas de dilatação caracterizadas**

### 6.2.2.14. Influência dos níveis sonoros individuais impulsivos no nível sonoro global

Apresentam-se nas Figuras 57 e 58 a variação dos níveis sonoros à passagem do C5, a 50 km/h e a 70 km/h, com e sem influência da junta de dilatação (Junta 3), e os associados níveis sonoros contínuos equivalentes,  $L_{eq}$ , em dB(A) e dB(C). Verificam-se as seguintes diferenças entre  $L_{eq}$  com e sem junta: 50 km/h: 1,2 dB(A) e 1,1 dB(C); 70 km/h: 1,7 dB(A) e 2,3 dB(C). Estes valores correspondem, na situação desfavorável e próxima da junta de dilatação em que foram efectuadas as medições (Junta 3), a ligeiros acréscimos que se encontram dentro do limite típico de incertezas da medição e da previsão rodoviária normal, em termos médios anuais. Nestas circunstâncias, afigura-se adequado estender ao ruído da passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação, os limites estabelecidos na alínea b) do n.º 1 do Artigo 13.º da Legislação [10], considerando tratar-se sempre de ruído impulsivo e assumindo o Ruído Residual como sendo o ruído normal do tráfego rodoviário sem influência da junta, o qual deverá cumprir os limites normais estabelecidos no Artigo 11.º [10]. Uma vez que, de acordo com os resultados das medições, existem maiores diferenças, para maiores velocidades, entre os valores em dB(C), recomenda-se que os limites referidos sejam caracterizados em dB(C), ou seja, em suma e junto dos Receptores com sensibilidade ao ruído deve verificar-se:  $L_{eq}$  (com junta) –  $L_{eq}$  (sem junta) menor ou igual a: Dia: 2 dB(C); Entardecer: 1 dB(C); Noite: 0 dB(C).



**Figura 57: Variação dos níveis sonoros a 50 km/h: à esquerda com junta e à direita sem junta**



**Figura 58: Variação dos níveis sonoros a 70 km/h: à esquerda com junta e à direita sem junta**

### 6.2.3. Método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos

A caracterização do *Statistical Pass-By Index* [24] implica a efectivação de várias medições *in situ* do nível sonoro máximo  $L_{Max}$  à passagem de veículos e o controlo da respectiva velocidade de circulação.

Como se pretende que o  $L_{Max}$  medido seja representativo do ruído da passagem do respectivo veículo, deverão ser seleccionados apenas os eventos que cumprem tal objectivo, devendo ser excluídos os eventos que tenham a influência de outros factores, nomeadamente ruído de outras Fontes.

Dado o elevado número de medições necessárias (pelo menos 100 veículos Ligeiros e 80 veículos Pesados [24]) verifica-se que pode não ser tarefa fácil seleccionar apenas os eventos representativos do ruído da passagem de um só veículo, sobretudo quando o volume de tráfego da via em análise tem alguma expressão e/ou quando os automobilistas decidem dar sinal da sua presença fazendo uso da buzina.

O método que se apresenta pretende estabelecer uma forma objectiva de selecção dos eventos efectivamente representativos da passagem de um só veículo, tendo por base a relação teórica entre a variação dos níveis sonoros à passagem de veículos, e a sua velocidade de circulação, de forma a obviar os efeitos negativos de decisões subjectivas de consideração ou não consideração de determinado evento, devido, por exemplo, à proximidade de outro veículo e/ou ao uso de buzina.

### 6.2.3.1. Equações base

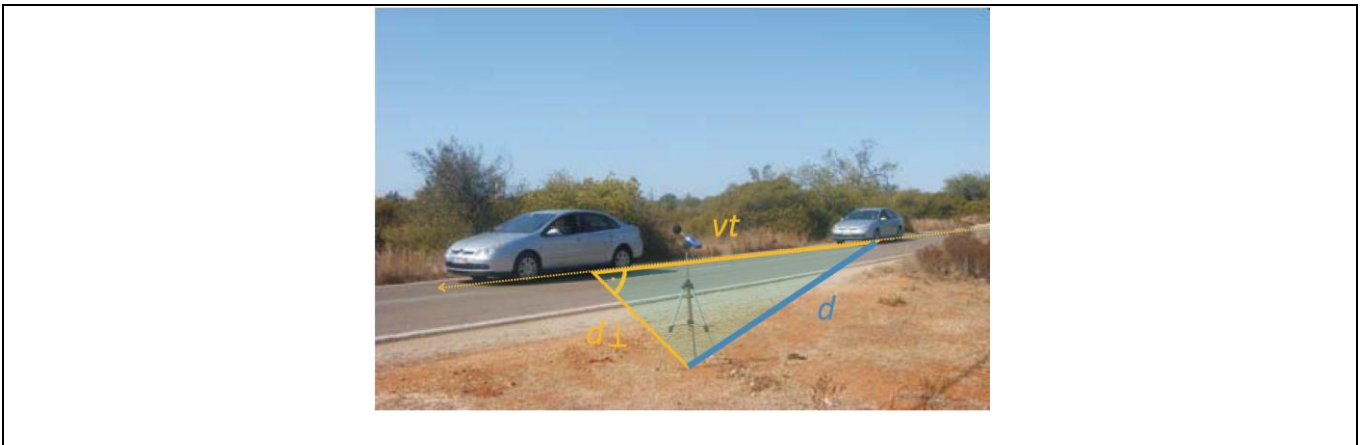
Assumindo que os veículos podem ser simulados por uma única Fonte Pontual omnidireccional, tem-se que, a uma dada distância  $d$  do veículo o Nível de Intensidade  $L_I$ , segundo a norma [28], vem dado por:

$$L_I = L_w - A_{div} - A = L_w - 11 - 20 \log(d) - A$$

Onde  $L_w$  é o nível de potência sonora do veículo (este parâmetro depende do tipo de veículo, da sua velocidade e da interacção pneu/pavimento),  $A_{div} = 11 + 20 \log(d)$  a denominada Divergência Geométrica e  $A$  uma atenuação geral.

Assumindo que à passagem de um veículo a velocidade constante numa via recta, conforme se ilustra na Figura 59, apenas varia a atenuação com a Divergência Geométrica, pode-se escrever o nível de intensidade sonora  $L_I$  em função do tempo  $t$ , da velocidade de circulação do veículo  $v$  e da distância do ponto de medição à via  $d_{via}$ , através da seguinte equação:

$$L_I = L_w - 11 - 20 \log \left( \sqrt{d_{via}^2 + (vt)^2} \right) - A \quad (29)$$

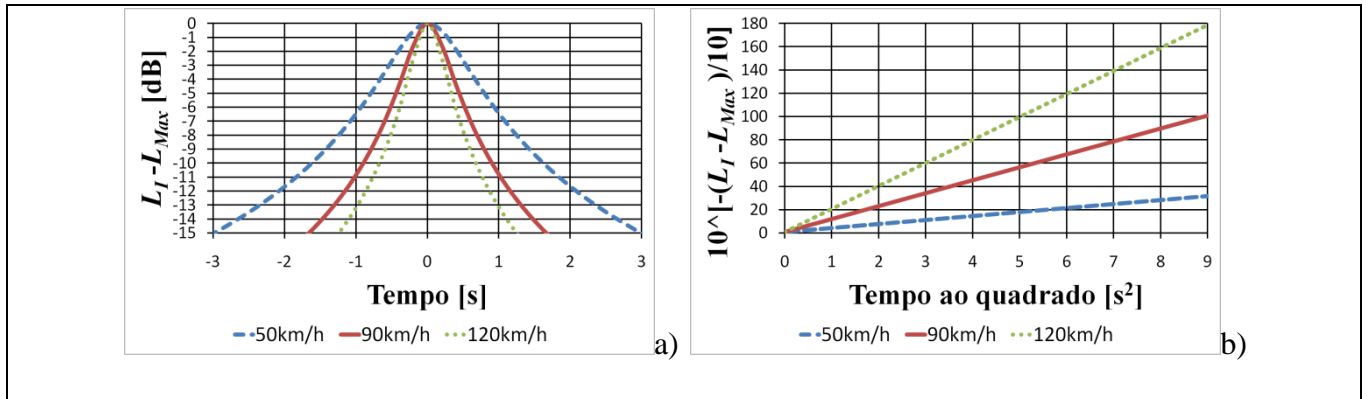


**Figura 59: Relações trigonométricas à passagem de um veículo por um ponto de medição**

Normalizando a equação (29) para o valor máximo que ocorre para  $t = 0$ , pode-se escrever:

$$L_I - L_{Max} = -20 \log \left( \sqrt{d_{via}^2 + (vt)^2} \right) + 20 \log(d_{via}) = -20 \log \left( \sqrt{1 + \left( \frac{v}{d_{via}} t \right)^2} \right) \quad (30)$$

Considerando  $d_{via} = 7,5$  m, apresentam-se na Figura 60 as variações teóricas dos níveis sonoros para as seguintes velocidades: 50 km/h, 90 km/h e 120 km/h, assim como a linearização da equação (30) para as mesmas velocidades.



**Figura 60: a) Variação teórica dos níveis sonoros normalizados à passagem de um veículo e sua b) linearização**

Pode-se demonstrar que a velocidade de circulação possui a seguinte relação com o declive  $m$  das rectas do gráfico b) da Figura 60:

$$v = d_{via} \sqrt{m} \text{ [m/s]}$$

Sendo expectáveis os seguintes declives, para  $d_{via} = 7,5$  m:

$$m_{50\text{km/h}} = 3,4$$

$$m_{90\text{km/h}} = 11,1$$

$$m_{120\text{km/h}} = 10,8$$

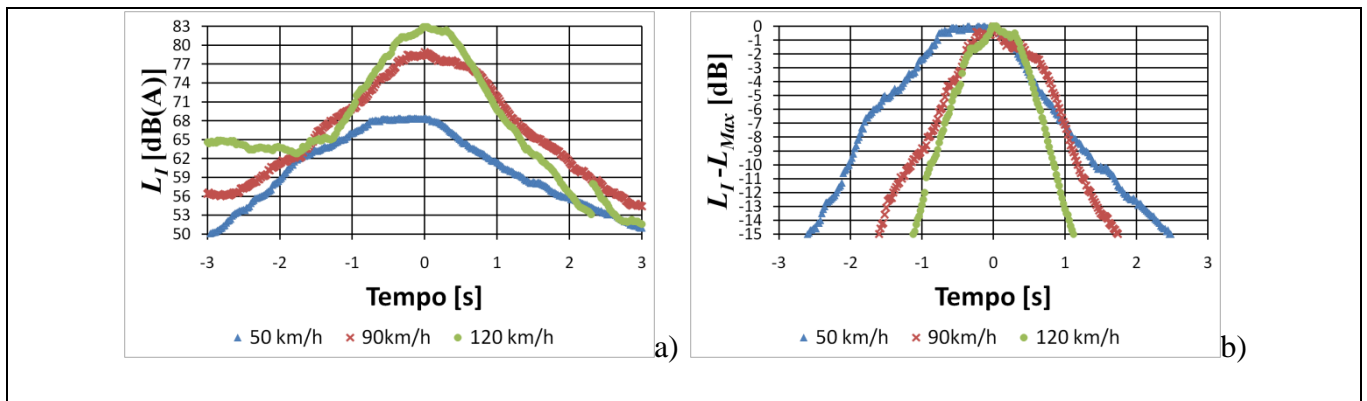
### 6.2.3.2. Equipamento utilizado nas medições

Para realização das medições de aferição do tipo de passagem dos veículos foi utilizado:

1. Um veículo automóvel com *cruise control*: Marca Citroen, Modelo C5;
2. Sonómetro de Classe 1: Marca 01dB, Modelo Blue Solo, que permite registar os níveis sonoros de 20 ms em 20 ms.

### 6.2.3.3. Resultados das medições *in situ*

Foram efectuadas medições a 3 diferentes velocidades: 50 km/h, 90 km/h e 120 km/h. Apresentam-se na Figura 61 exemplos de resultados experimentais obtidos para cada uma das 3 velocidades referidas.



**Figura 61: Resultados experimentais obtidos: a) variação dos níveis sonoros efectivos e b) normalizados**

Os resultados obtidos conduziram à previsão dos seguintes valores médios:

1. Velocidade de 50 km/h no “conta-quilómetros” → previsão de  $47 \pm 17\%$ ;
2. Velocidade de 90 km/h no “conta-quilómetros” → previsão de  $79 \pm 11\%$ ;
3. Velocidade de 120 km/h no “conta-quilómetros” → previsão de  $108 \pm 8\%$ .

Verifica-se assim que as incertezas das medições da velocidade através deste método são superiores aos  $\pm 3\%$  estabelecidos na norma [24], o que faz com que este método não seja adequado para determinação exacta da velocidade de circulação dos veículos, mas possui uma resolução suficiente para permitir distinguir passagens incaracterísticas.

De referir que não foi controlada a incerteza do “conta-quilómetros” do veículo, pelo que não é conclusivo o desvio dos valores médios relativamente ao valor constante no “conta-quilómetros”.

### Especificidades

Analisando os gráficos da Figura 61, verifica-se que, como seria expectável, ocorre um maior desvio dos valores experimentais relativamente à expressão teórica, na imediata proximidade dos 0 segundos

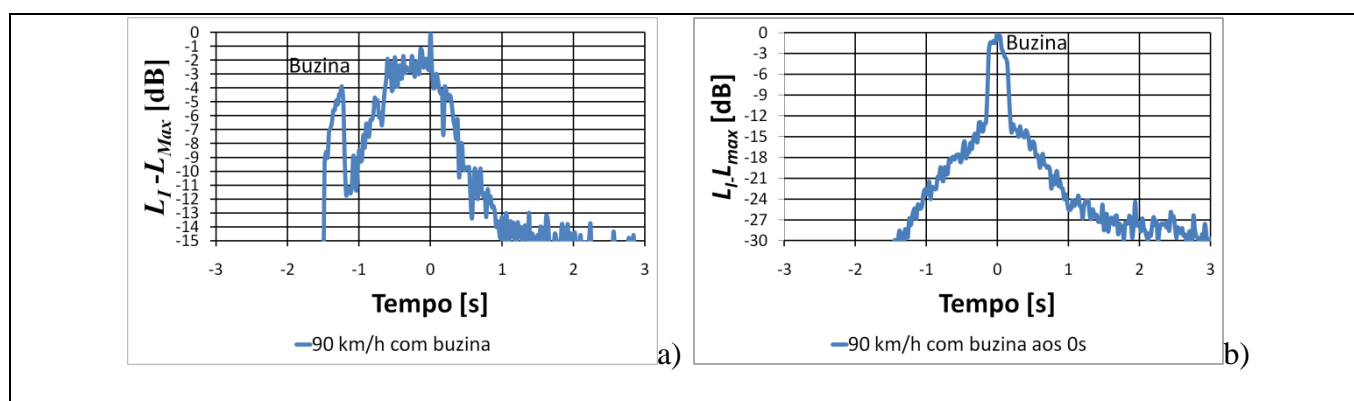
(devido ao facto do veículo não ser pontual) e nos níveis sonoros mais baixos (devido à influência do Ruído Residual e de atenuações parasitas).

Nestas circunstâncias, é necessário seleccionar as mais adequadas zonas de subida e de descida. Para os resultados obtidos considerou-se suficiente e necessário limitar a análise aos valores que se encontram entre 15 dB e 2 dB abaixo do valor máximo.

De referir que no caso da velocidade de 120 km/h a variação de 15 dB ocorre em apenas um segundo pelo que é necessário que o Sonómetro a usar possua tempos de integração inferiores a 1 segundo.

### Resultados com buzina

Apresentam-se na Figura 62 dois exemplos de resultados experimentais à passagem de veículo com uso de buzina, antes e exactamente aquando da passagem.



**Figura 62: Resultados experimentais obtidos: a) com buzina antes e b) com buzina aos 0 segundos**

Como se pode ver, os resultados da Figura 62a) podem ser usados, se for seleccionado o máximo adequado, enquanto os resultados da Figura 62b) não podem ser usados sem extrapolação adequada do máximo associado à variação dos níveis devido à passagem e não devido à buzina.

### 6.2.4. Velocímetro e contador de tráfego sonoros

O presente desenvolvimento apresenta um método para contagem e medição de velocidade por tipo de veículo, através de medições de ruído com Sonómetros (ou outro equipamento áudio calibrado que permita obter os níveis sonoros). São usados dois Sonómetros síncronos a distância fixa e é medida a variação temporal dos níveis sonoros à passagem dos veículos. A identificação da passagem do veículo

é efectuada através da confirmação de que a forma da variação dos níveis sonoros com o tempo, em cada Sonómetro, se coaduna com a velocidade registada através do atraso entre os valores máximos da passagem nos dois Sonómetros. A identificação do tipo de veículo é efectuada através da comparação dos níveis sonoros à passagem, à velocidade registada, com as bases de dados de emissão sonora do tráfego rodoviário.

#### **6.2.4.1. Desenvolvimentos semelhantes**

Conforme estabelecido na referência [150], não se conhecem muitos estudos científicos de reconhecimento de tráfego, existindo sobretudo estudos de reconhecimento de voz ou música, por exemplo a referência [151].

Ao contrário do que acontece nessas referências, em que o objectivo é desenvolver formas de identificar o melhor possível se é um veículo Ligeiro ou um veículo Pesado (ou outros tipos de veículos), no presente desenvolvimento pretende-se que o método de detecção, que consiste na comparação dos níveis sonoros obtidos com as bases de dados de emissão sonora disponíveis, possa e deva considerar um determinado veículo Ligeiro muito ruidoso como veículo Pesado, pois, na modelação, esse veículo será melhor representado por um veículo Pesado.

Trata-se portanto de um método de contagem de tráfego e de medição de velocidade especialmente direccionado para a modelação de ruído.

#### **6.2.4.2. Especificações da medição *in situ***

Foram colocados dois Sonómetros de Classe 1, NA27 da RION, separados 20 metros entre si, a uma distância de 7,5 metros ao eixo da via de ligação da EN2 ao Mercado Abastecedor da Região de Faro, conforme ilustrado na Figura 63. Os Sonómetros foram sincronizados através de um impulso inicial com os microfones juntos, e o tempo de integração em cada Sonómetro é de 0,1 segundos, ou seja, os valores dos níveis sonoros à passagem são registados de 0,1 em 0,1 segundos.



**Figura 63: Distâncias utilizadas na contagem e medição de velocidade através de Sonómetros**

Foi também efectuada medição da velocidade dos veículos através de radar *Bushnell* (ver Figura 64).



**Figura 64: Radar Bushnell**

### **6.2.4.3. Valores obtidos para o tráfego normal**

Apresentam-se na Figura 65 e na Figura 66, os valores obtidos em cada um dos Sonómetros.

De acordo com o observado *in situ*, passaram 14 ligeiros (L) e 3 Pesados (P), às seguintes velocidades de acordo com o radar *Bushnell*:

1. L<sub>1</sub>: 59 km/h; L<sub>2</sub>: 63 km/h; L<sub>3</sub>: 69 km/h; L<sub>4</sub>: 75 km/h; L<sub>5</sub>: 72 km/h; L<sub>6</sub>: 81 km/h; L<sub>7</sub>: 39 km/h; L<sub>8</sub>: não foi possível medir; L<sub>9</sub>: 63 km/h; L<sub>10</sub>: 81 km/h; L<sub>11</sub>, L<sub>12</sub> e L<sub>13</sub>: não foi possível medir; L<sub>14</sub>: 59 km/h.
2. P<sub>1</sub>: 47 km/h; P<sub>2</sub>: 54 km/h; P<sub>3</sub>: 47 km/h.

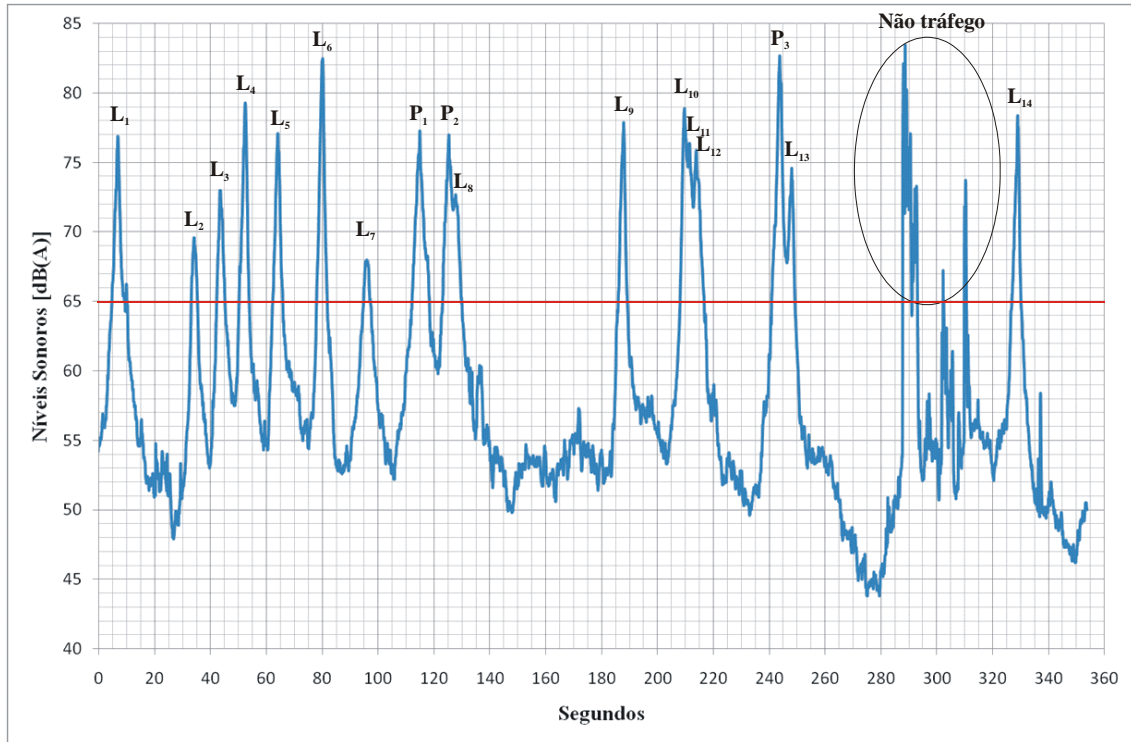


Figura 65: Valores obtidos no Sonómetro 1

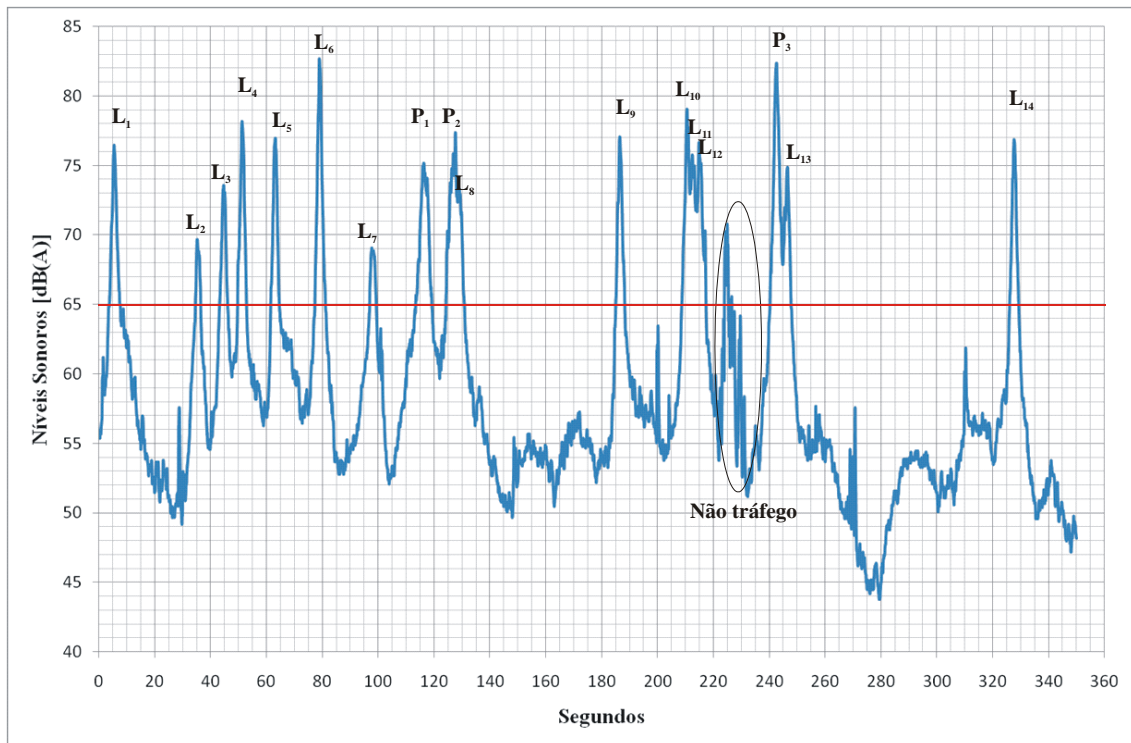


Figura 66: Valores obtidos no Sonómetro 2

#### 6.2.4.4. Determinação dos eventos associados a passagem de veículos

De acordo com os gráficos da Figura 16 e da Figura 17 (capítulo 3.1.9), não são expectáveis, a cerca de 5 metros da via, valores máximos inferiores a 65 dB(A). Assim, pode-se analisar apenas os valores acima de 65 dB(A) nos gráficos da Figura 65 e Figura 66.

Tem-se assim o seguinte número de eventos aos seguintes segundos:

1. Figura 65: 5s, 35s, 45s, 50s, 65s, 80s, 95s, 115s, 125s, 190s, 210s, 245s, 250s, **290s, 305s, 310s** e 330s.
2. Figura 66: 5s, 35s, 45s, 50s, 65s, 80s, 95s, 115s, 125s, 185s, 210s, **225s**, 245s, 250s, e 325s.

Verifica-se assim que o uso de dois Sonómetros é um método eficaz para detecção de eventos que não correspondem a passagem de veículos, pois aos 290s, 305s e 310s ocorrem eventos sonoros no Sonómetro 1 mas não ocorrem no Sonómetro 2, pelo que esses eventos devem ser desprezados. No caso do Sonómetros 2, ocorrem eventos sonoros aos 225s que não ocorrem no Sonómetro 1, pelo que esses eventos devem ser também desprezados.

De referir ainda o facto de aos 125 segundos ter passado 1 Pesado e logo em seguida 1 Ligeiro (ver Figura 67a), e aos 210 segundos terem passado 3 Ligeiros de seguida (ver Figura 67b), o que corresponde a uma das principais limitações do método, pois quando as passagens são muito próximas aparenta ser um único veículo a passar. Uma das formas de obviar, ou minimizar, este problema poderá ser, por exemplo, em vez de analisar os valores máximos, como se efectuará em seguida, analisar o nível sonoro contínuo equivalente (ou o nível de exposição) da passagem, o qual vai assim integrar as passagens que ocorrerem e ajustar-se em conformidade à base de dados.



**Figura 67: Passagem muito próxima de veículos**

### 6.2.4.5. Determinação da velocidade de circulação

Tendo já sido seleccionados os eventos associados a passagens de veículos, vai-se verificar, com a precisão de 0,1 segundos, quais os instantes em que ocorreram os valores máximos em cada um dos Sonómetros, e calcular a diferença de tempo  $\Delta t$ , em segundos, entre esses instantes. Uma vez que os Sonómetros estão separados por uma distância de 20 metros, a velocidade de circulação  $v$ , em km/h, é dada por:

$$v = (20/1000)/(\Delta t/3600) \text{ [km/h]}$$

Em termos estritamente teóricos, assumindo uma incerteza na localização dos máximos de  $\pm t$  segundos, onde  $t$  corresponde ao tempo de integração do Sonómetro (0,1 s no exemplo), resulta a seguinte distância mínima  $d_{min}$  entre Sonómetros para se ter uma incerteza de  $\pm 3\%$  na determinação da velocidade (velocidade  $v$  expressa em m/s):

$$d_{min} = (vt)/0,03 \text{ [m]}$$

Ou seja, para uma velocidade de 120 km/h e para um tempo de integração de 0,1 s, é necessária uma distância mínima entre Sonómetros de cerca de 111 metros. Para a mesma velocidade mas para um tempo de integração de 0,01 segundos é necessária uma distância mínima entre Sonómetros de cerca de 11 metros.

No que concerne à comparação das velocidades de circulação medidas pelo radar e pelo método desenvolvido (Quadro 43, Quadro 44, Quadro 45 e Quadro 46), verificam-se algumas discrepâncias, devido ao facto de alguns veículos terem comportamentos não uniformes durante a passagem, o que poderá ser avaliado e corrigido, caso necessário, conjugando este método com o método do capítulo 6.2.3, correspondendo assim a uma vantagem do método relativamente ao radar. Outra vantagem é o facto de o método desenvolvido ter maior capacidade, do que o radar, na determinação da velocidade individual de veículos que passam relativamente juntos.

### 6.2.4.6. Determinação do tipo de veículo

Para determinar o tipo de veículo, associado a cada evento seleccionada como correspondente à passagem de 1 veículo, propõe-se que se compare o valor máximo da passagem com os valores máximos considerados nas bases de dados para a velocidade de circulação determinada.

Uma vez que foram determinadas 2 velocidades de circulação, uma através do radar *Bushnell* e outra através do método, e uma vez que a referência [56] possui informação sobre a nova base de dados associado ao Modelo Europeu Harmonizado (MEH), em termos de Nível de Potência Sonora, apresenta-se a análise para as 2 velocidades referidas e para as 2 bases de dados ([4], ainda em vigor, e [56], em aprovação).

O cálculo do  $L_{Max}$  em função da Emissão Sonora de [4] e dos Níveis de Potência Sonora de [56], foram efectuadas para uma distância de 7,5 metros à via e de acordo com as equações constantes no Apêndice A1.1.

Verifica-se assim existirem diferenças entre as escolhas do tipo de veículo através do método e o tipo de veículo real observado *in situ*, contudo, em termos de modelação, e tendo em conta os níveis sonoros registados, será mais adequado modelar por veículos Pesados, através do método da norma [4], os veículos Ligeiros com maior emissão sonora.

No que concerne ao método da referência [56], uma vez que em média possui níveis sonoros menores do que os do método da norma [4], conforme demonstrado na referência [103], é natural que sejam em maior número os veículos Ligeiros considerados como veículos Pesados, contudo o método da referência [56] possui um parâmetro para Correção Regional o qual, a ser utilizado, poderá regularizar as correspondências.

**Quadro 43: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo radar e modelo NMPB'96**

Radar [km/h]	$L_{Max}$ Medido (Sonómetro) [dB(A)]			NMPB'96		Comparação		Escolha	Real
	Ponto 1	Ponto 2	Média	$L_{Max}$ Ligeiro	$L_{Max}$ Pesado	Ligeiro - Média	Pesado - Média		
59	76,5	76,9	76,7	71,4	82,0	5,27	-5,31	Liga.	Lig.
63	69,7	69,6	69,7	72,3	82,3	-2,67	-12,64	Lig.	Lig.
69	69,7	69,6	69,7	73,6	82,7	-3,90	-13,04	Lig.	Lig.
75	73,6	73	73,3	74,7	83,7	-1,39	-10,43	Lig.	Lig.
72	77	77,1	77,1	74,1	83,2	2,92	-6,15	Lig.	Lig.
81	82,7	82,5	82,6	75,7	84,7	6,87	-2,11	Pes.	Lig.
39	69,1	67,9	68,5	66,8	81,4	1,69	-12,92	Lig.	Lig.
54	75,2	77,3	76,3	70,2	81,6	6,03	-5,37	Pes.	Pes.
47	75,9	77	76,5	68,3	81,4	8,11	-4,95	Pes.	Pes.
63	77,1	77,9	77,5	72,3	82,3	5,18	-4,79	Pes.	Lig.
81	79,1	78,9	79,0	75,7	84,7	3,27	-5,71	Lig.	Lig.
59	82,4	82,7	82,6	71,4	82,0	11,12	0,54	Pes.	Pes.
*	74,9	74,6	74,8	-	-	-	-	-	Lig.
59	76,9	78,4	77,7	71,4	82,0	6,22	-4,36	Pes.	Lig.

\* Não foi possível determinar a velocidade de passagem através do radar.

**Quadro 44: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo Método e modelo NMPB'96**

Método [km/h]	$L_{Max}$ Medido (Sonómetro) [dB(A)]			NMPB'96		Comparação		Escolha	Real
	Ponto 1	Ponto 2	Média	$L_{Max}$ Ligeiro	$L_{Max}$ Pesado	Ligeiro - Media	Pesado - Media		
55,4	76,5	76,9	76,7	70,6	81,7	6,1	-5,0	Pes.	Lig.
72	69,7	69,6	69,7	74,1	83,2	-4,5	-13,6	Lig.	Lig.
72	69,7	69,6	69,7	74,1	83,2	-4,5	-13,6	Lig.	Lig.
51,4	73,6	73	73,3	69,6	81,4	3,7	-8,1	Lig.	Lig.
80	77	77,1	77,1	75,6	84,5	1,5	-7,5	Lig.	Lig.
60	82,7	82,5	82,6	71,7	82,1	10,9	0,5	Pes.	Lig.
32,7	69,1	67,9	68,5	66,0	81,4	2,5	-12,9	Lig.	Lig.
51,4	75,2	77,3	76,3	69,6	81,4	6,7	-5,2	Pes.	Pes.
45	75,9	77	76,5	67,7	81,4	8,7	-5,0	Pes.	Pes.
51,4	77,1	77,9	77,5	69,6	81,4	7,9	-3,9	Pes.	Lig.
80	79,1	78,9	79,0	75,6	84,5	3,4	-5,5	Lig.	Lig.
60	82,4	82,7	82,6	71,7	82,1	10,9	0,5	Pes.	Pes.
48	74,9	74,6	74,8	68,6	81,4	6,1	-6,6	Lig.	Lig.
55,4	76,9	78,4	77,7	70,6	81,7	7,1	-4,1	Pes.	Lig.

**Quadro 45: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo radar e Modelo Harmonizado**

Radar [km/h]	$L_{Max}$ Medido (Sonómetro) [dB(A)]			MEH		Comparação		Escolha	Real
	Ponto 1	Ponto 2	Média	$L_{Max}$ Ligeiro	$L_{Max}$ Pesado	Ligeiro - Media	Pesado - Media		
59	76,5	76,9	76,7	71,9	78,5	4,8	-1,8	Pes.	Lig.
63	69,7	69,6	69,7	72,4	78,7	-2,7	-9,1	Lig.	Lig.
69	69,7	69,6	69,7	73,2	79,1	-3,5	-9,5	Lig.	Lig.
75	73,6	73	73,3	73,9	79,6	-0,6	-6,3	Lig.	Lig.
72	77	77,1	77,1	73,5	79,4	3,5	-2,3	Pes.	Lig.
81	82,7	82,5	82,6	74,7	80,1	7,9	2,5	Pes.	Lig.
39	69,1	67,9	68,5	70,0	77,4	-1,5	-8,9	Lig.	Lig.
54	75,2	77,3	76,3	71,3	78,2	4,9	-1,9	Pes.	Pes.
47	75,9	77	76,5	70,6	77,8	5,8	-1,3	Pes.	Pes.
63	77,1	77,9	77,5	72,4	78,7	5,1	-1,2	Pes.	Lig.
81	79,1	78,9	79,0	74,7	80,1	4,3	-1,1	Pes.	Lig.
59	82,4	82,7	82,6	71,9	78,5	10,6	4,1	Pes.	Pes.
*	74,9	74,6	74,8	-	-	-	-	-	Lig.
59	76,9	78,4	77,7	71,9	78,5	5,7	-0,8	Pes.	Lig.

\* Não foi possível determinar a velocidade de passagem através do radar; MEH: Modelo Europeu Harmonizado.

**Quadro 46: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo Método e Modelo Harmonizado**

Método [km/h]	$L_{Max}$ Medido (Sonómetro) [dB(A)]			MEH		Comparação		Escolha	Real
	Ponto 1	Ponto 2	Média	$L_{Max}$ Ligeiro	$L_{Max}$ Pesado	Ligeiro - Media	Pesado - Media		
55,4	76,5	76,9	76,7	71,5	78,2	5,2	-1,5	Pes.	Lig.
72	69,7	69,6	69,7	73,5	79,4	-3,9	-9,7	Lig.	Lig.
72	69,7	69,6	69,7	73,5	79,4	-3,9	-9,7	Lig.	Lig.
51,4	73,6	73	73,3	71,1	78,0	2,2	-4,7	Lig.	Lig.
80	77	77,1	77,1	74,6	80,0	2,4	-2,9	Lig.	Lig.
60	82,7	82,5	82,6	72,0	78,5	10,6	4,1	Pes.	Lig.
32,7	69,1	67,9	68,5	69,6	77,2	-1,1	-8,7	Lig.	Lig.
51,4	75,2	77,3	76,3	71,1	78,0	5,2	-1,8	Pes.	Pes.
45	75,9	77	76,5	70,4	77,7	6,0	-1,2	Pes.	Pes.
51,4	77,1	77,9	77,5	71,1	78,0	6,4	-0,5	Pes.	Lig.
80	79,1	78,9	79,0	74,6	80,0	4,4	-1,0	Pes.	Lig.
60	82,4	82,7	82,6	72,0	78,5	10,5	4,0	Pes.	Pes.
48	74,9	74,6	74,8	70,7	77,8	4,0	-3,1	Pes.	Lig.
55,4	76,9	78,4	77,7	71,5	78,2	6,2	-0,6	Pes.	Lig.

MEH: Modelo Europeu Harmonizado.

### 6.2.5. Método de monitorização do ruído de tráfego ferroviário

A norma [6] estabelece o seguinte, no capítulo “6.3 Rail traffic”:

*As medições deverão caracterizar o ruído de passagem de pelo menos 20 comboios. Cada categoria de comboio que contribui significativamente para o  $L_{eq}$  global deverá ser representada pelo menos por 5 passagens. Se necessário, as medições deverão continuar num dia subsequente.*

Face ao explicitado pelo menos 4 perguntas se impõem:

1. Se não se caracterizar 20 comboios e pelo menos 5 comboios de cada uma das categorias que contribui mais significativamente para o Ruído Global, quais as consequências?
2. Como se calcula o  $L_{eq}$  Global com base nos valores individuais de passagem?
3. Efectuar mais ou menos tempo de medição na obtenção dos valores individuais de passagem tem influência no Valor Global?
4. Como se faz para determinar se uma dada categoria contribui significativamente para o  $L_{eq}$  global?

Entende-se que a resposta à 1.ª pergunta é a seguinte: As consequências vão ser a nível da exactidão dos resultados, sendo que em determinados casos pode ser suficiente uma menor exactidão. Para uma

maior exactidão são necessárias mais medições, sendo a quantidade necessária, para uma dada exactidão, dependente da variabilidade específica de cada caso.

De facto a referência [60] vai de encontro ao referido, conforme se pode verificar na seguinte transcrição/tradução constante no capítulo “7.3 Rail traffic” dessa referência: “*O número de passagens necessárias para obter a média da variação da emissão sonora individual dos veículos depende da exactidão pretendida. Se não estiver disponível outra informação, a incerteza padrão, denotada por  $u_{sou}$  na Tabela 1, pode ser calculada através da seguinte equação:  $u_{sou}[\text{dB}] \approx \frac{C}{\sqrt{n}}$ , onde  $n$  é o número de passagens. Se a amostragem for efectuada sem ter em conta as condições de operação assumam-se  $C = 10$ , enquanto se a amostragem tiver em conta a ocorrência relativa dos diferentes tipos de comboio (mercadorias, passageiros, etc) esse valor pode ser diminuído para 5”.*

Confrontando a expressão anterior com a expressão constante na página 44 da referência [152], verifica-se que a incógnita  $C$  corresponde ao desvio padrão  $\sigma$ , o qual pode ser obtido mediante medições através da seguinte expressão (página 38 da referência [152]):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

onde  $x_i$  corresponde aos resultados de cada medição,  $\bar{x}$  à média aritmética e  $n$  ao número de medições.

Face ao enunciado, tem-se que a referência [60] estabelece, ao fim e ao cabo, uma variabilidade típica para as Ferrovias, na ausência de outra informação, correspondente aos seguintes desvios padrão típicos:

1.  $\sigma = 10$  dB, se não forem tidos em conta os diferentes tipos de comboios;
2.  $\sigma = 5$  dB, se forem tidos em conta os diferentes tipos de comboios.

Apresenta-se assim como relevante determinar, através de medições *in situ*, em situação real, qual o tipo de variabilidade representativa dos desvios padrão assumidos pela referência [60].

Os objectivos do presente desenvolvimento são assim os seguintes:

1. Determinar, através de medições *in situ*, os desvios padrão de duas situações distintas, com diferente variabilidade dos níveis sonoros, para tentar obter uma referência guia para a

variabilidade assumida pela referência [60] e verificar quais as consequências da utilização de um número de medições maior ou menor (capítulo 6.2.5.1).

2. Explicitar a forma de cálculo do  $L_{eq}$  global, com base nos valores individuais de passagem, e demonstrar a influência do tempo de medição de cada passagem (capítulo 6.2.5.2), na medida em que tal relação não consta, pelo menos de forma clara, nas normas [5,6].
3. Deduzir uma forma quantitativa para determinação de quais as categorias com maior influência não só no  $L_{eq}$  global mas também na incerteza padrão global (capítulo 6.2.5.3), o que corresponde a um complemento ao referido na norma [6], e transcrito acima, pois, na norma [6], não é tido em conta a influência de determinada categoria na incerteza global.
4. Apresentar, em conformidade com o desenvolvido nos pontos anteriores, uma metodologia geral de monitorização do ruído de tráfego ferroviário (capítulo 6.2.5.4).

### **6.2.5.1. Desvio padrão de 2 situações distintas**

#### **Situações caracterizadas**

Foram efectuadas medições dos níveis sonoros à passagem de Comboios Regionais, junto à Linha Férrea do Algarve, em 2 Situações (2 pontos):

1. Um ponto perto da Estação de Faro (Ponto 1), onde é expectável uma maior variabilidade das velocidades de circulação dos comboios e, subsequentemente, uma maior variabilidade dos níveis sonoros.
2. Um ponto afastado de estações e apeadeiros (Ponto 2), onde é expectável uma menor variabilidade das velocidades de circulação dos comboios e, subsequentemente, uma menor variabilidade dos níveis sonoros.

Por serem em maior número e tendo em vista a obtenção de desvios padrão de referência, apenas foram caracterizados Comboios Regionais e apenas foram caracterizados 5 Comboios em cada ponto.

#### **Equipamentos**

Foram utilizados Sonómetros de Classe 1 (NA27 da RION e SOLO da 01 dB) para as medições dos níveis sonoros, e um radar Bushnell para a medição das velocidades de circulação (conforme se ilustra nas Figuras seguintes).

### Níveis sonoros e velocidades de circulação obtidos

Apresentam-se nas figuras seguintes (Figura 68 a Figura 77) o  $L_{eq}$  de 10 segundos (5 segundos antes e 5 segundos depois da passagem), as respectivas velocidades de circulação dos Comboios, a variação dos níveis sonoros ao longo do tempo de passagem e um apontamento fotográfico da passagem.

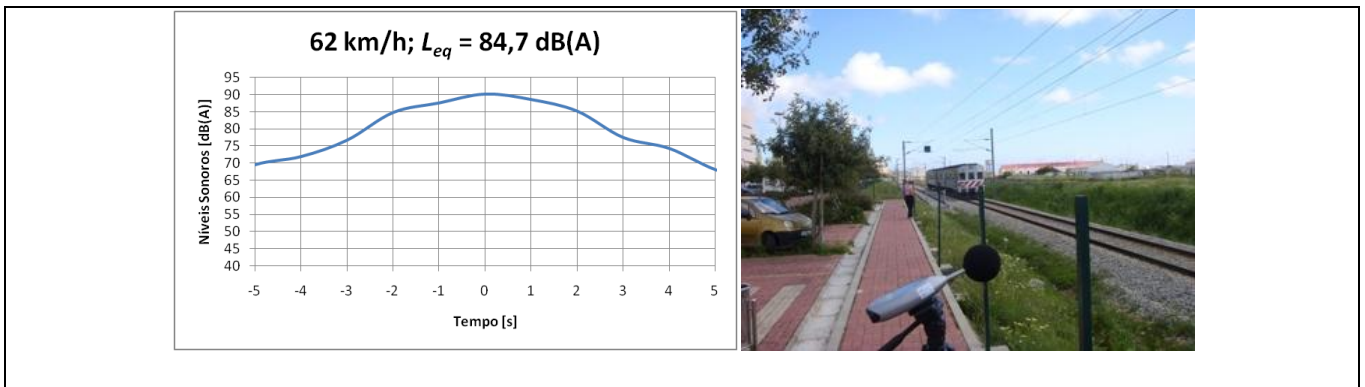


Figura 68: Resultados da medição 1 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios

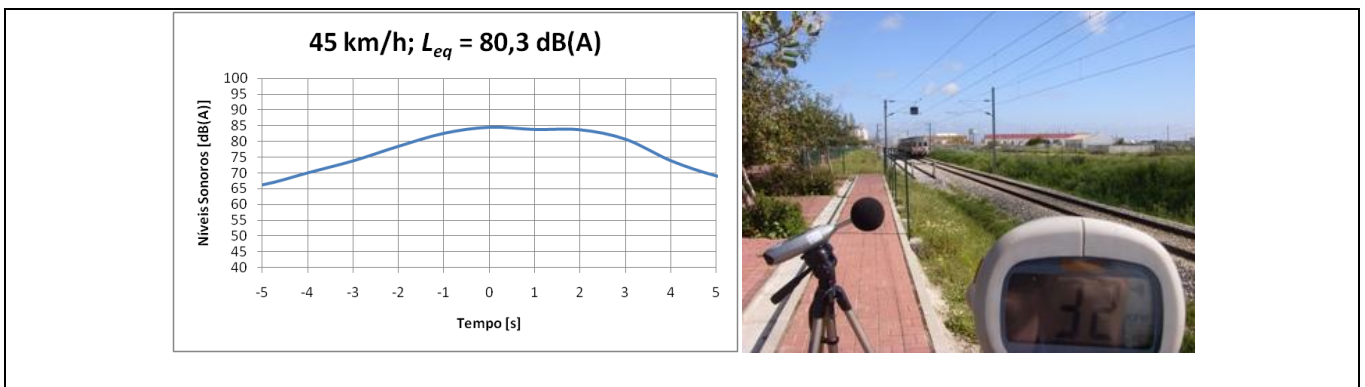


Figura 69: Resultados da medição 2 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios

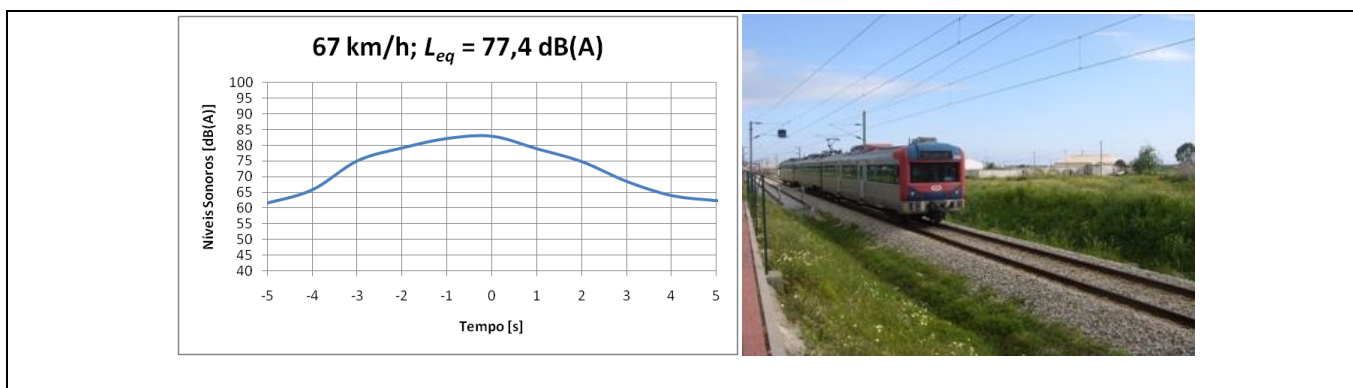


Figura 70: Resultados da medição 3 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios

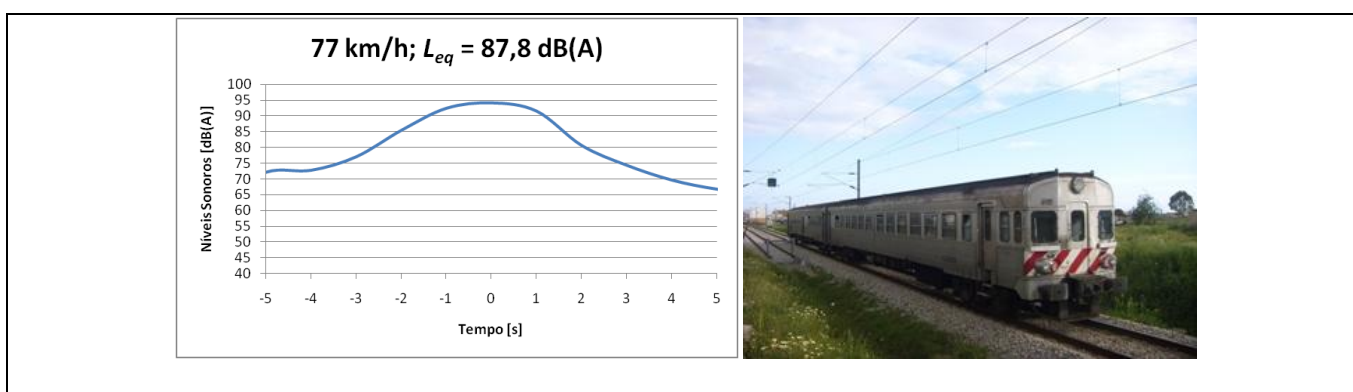


Figura 71: Resultados da medição 4 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios

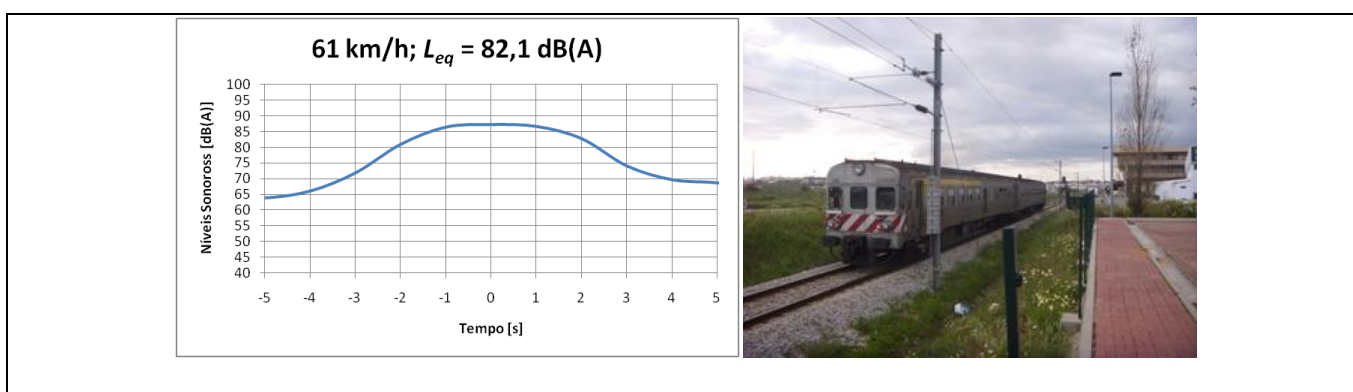


Figura 72: Resultados da medição 5 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios



Figura 73: Resultados da medição 1 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios

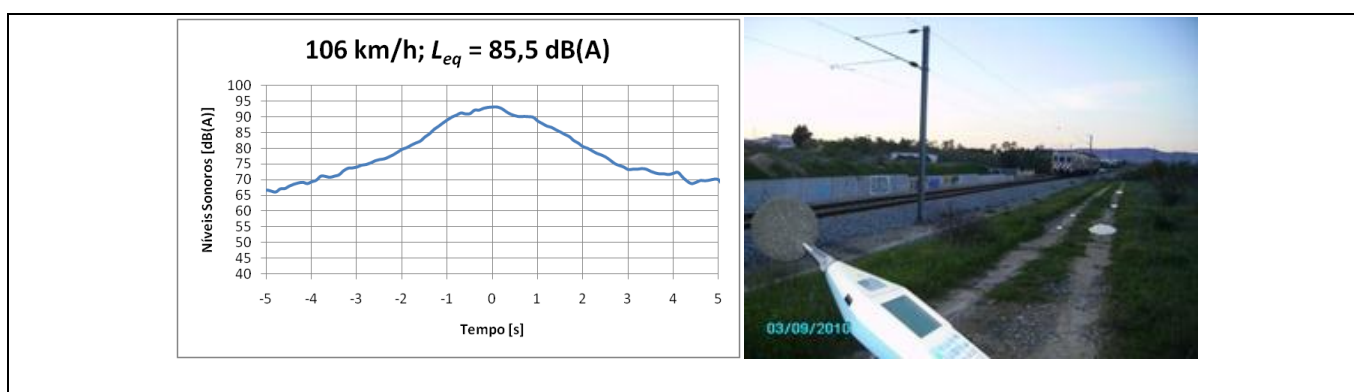


Figura 74: Resultados da medição 2 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios

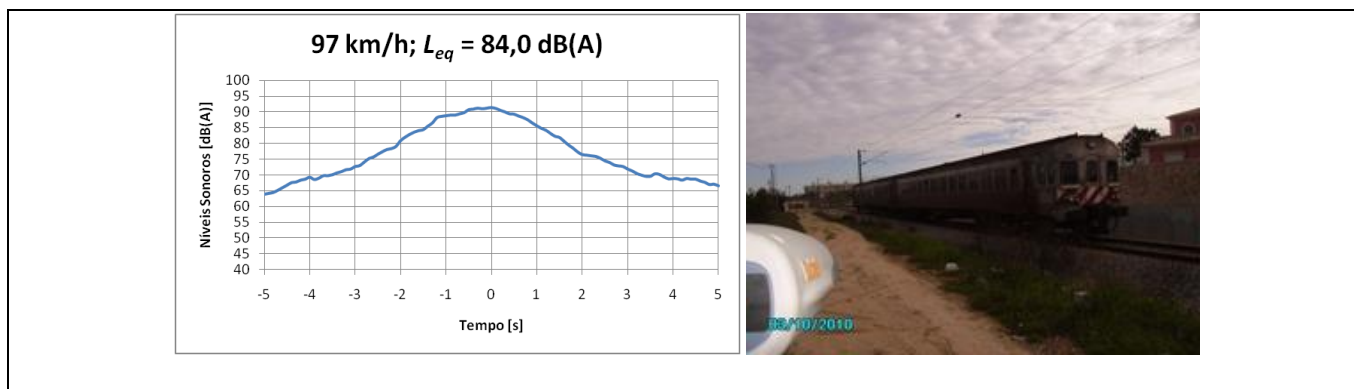
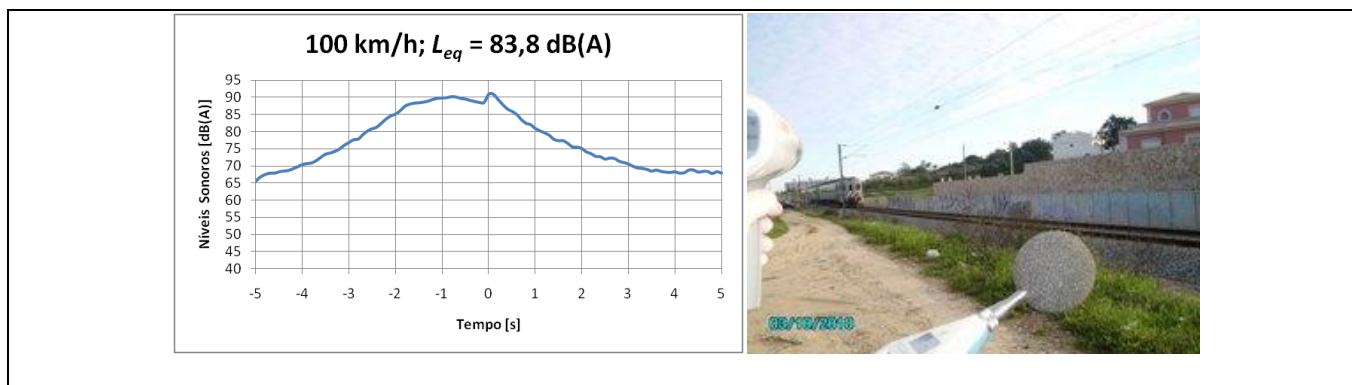
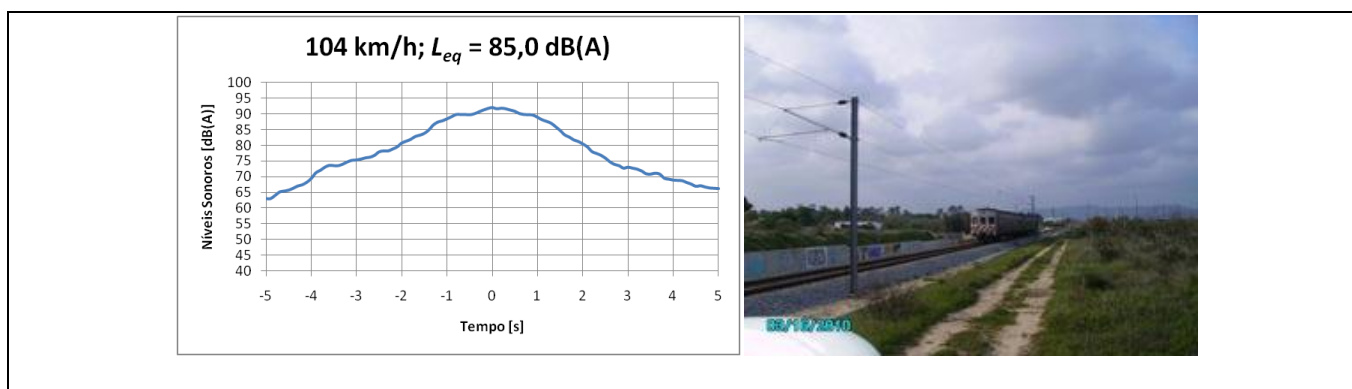


Figura 75: Resultados da medição 3 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios



**Figura 76: Resultados da medição 4 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios**



**Figura 77: Resultados da medição 5 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios**

### Desvios padrão obtidos

Apresenta-se no Quadro 47 os valores de  $L_{eq}$  obtidos, a respectiva média aritmética ( $\langle L_{eq} \rangle$ ), e os respectivos desvios padrão.

**Quadro 47: Valores obtidos para os desvios padrão na medição do ruído de comboios**

$L_{eq}$		$\langle L_{eq} \rangle$		Desvio Padrão	
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2
84,7 dB(A)	83,4 dB(A)	82,5 dB(A)	84,3 dB(A)	4 dB(A)	0,9 dB(A)
80,3 dB(A)	85,5 dB(A)				
77,4 dB(A)	84,0 dB(A)				
87,8 dB(A)	83,8 dB(A)				
82,1 dB(A)	85,0 dB(A)				

### Representatividade de $C = 5$ dB

Tendo por base os valores apresentados no Quadro 1, verifica-se que o valor  $C = 5$  dB considerado na referência [60], é aproximadamente representativo da variabilidade dos níveis sonoros dos Comboios

Regionais, na Linha do Algarve, junto à Estação de Faro (Ponto 1), onde existe uma significativa variação das velocidades de circulação (45 a 77 km/h)], e onde o desvio padrão obtido foi  $C = 4$  dB.

No Ponto 2, em situação de menor variabilidade (97 a 106 km/h) o desvio padrão é, de acordo com as medições efectuadas, 4 vezes inferior ( $C \approx 1$  dB).

### Consequências de um maior ou menor número de medições

Fazendo uso da expressão:

$$u_{sou}[\text{dB}] \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Têm-se as seguintes incertezas padrão para as duas Situações caracterizadas, para as 5 medições efectuadas:

1. Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(5)^{1/2} \approx 1,8$  dB;
2. Ponto 2:  $u_{sou} = 0.9/(5)^{1/2} \approx 0,4$  dB.

Para 3 medições ter-se-ia (admitindo, por simplicidade, o mesmo desvio padrão):

1. Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(3)^{1/2} \approx 2,3$  dB;
2. Ponto 2:  $u_{sou} = 4/(3)^{1/2} \approx 0,5$  dB.

Para 20 medições ter-se-ia (admitindo, por simplicidade, o mesmo desvio padrão):

1. Ponto 1:  $u_{sou} = 4/(20)^{1/2} \approx 0,9$  dB;
2. Ponto 2:  $u_{sou} = 4/(3)^{1/2} \approx 0,2$  dB.

Utilizando um factor de expansão de 2 (nível de confiança de 95 %), pode-se escrever:

1. Ponto 1:
  - 3 medições:  $L_{eq} = 83 \pm 5$  dB(A).
  - 5 medições:  $L_{eq} = 83 \pm 4$  dB(A).
  - 20 medições:  $L_{eq} = 83 \pm 2$  dB(A).
2. Ponto 2:
  - 3 medições:  $L_{eq} = 84 \pm 1$  dB(A).

- 5 medições:  $L_{eq} = 84,3 \pm 0,8$  dB(A).
- 20 medições:  $L_{eq} = 84,3 \pm 0,4$  dB(A).

Assim, a suficiência de um menor número de medições e a necessidade de uma maior número de medições depende, por exemplo, dos valores limite que se querem verificar:

1. Admitindo que os valores limite que se pretendem verificar são 90 dB(A) para o Ponto 1 e 80 dB(A) para o Ponto 2, tem-se que mesmo com apenas 3 medições consegue-se ter um nível de confiança de 95 % no cumprimento no Ponto 1 e no incumprimento no Ponto 2 (confrontar com proposta de relação da incerteza com os limites legais apresentada no capítulo 5.1.2).
2. Admitindo que os valores limite que se pretendem verificar são 86 dB(A) para o Ponto 1 e 83,8 dB(A) para o Ponto 2, só para 20 medições (nos valores apresentados) se consegue ter um nível de confiança de 95 % no cumprimento no Ponto 1 e no incumprimento no Ponto 2.

### 6.2.5.2. $L_{eq}$ Global

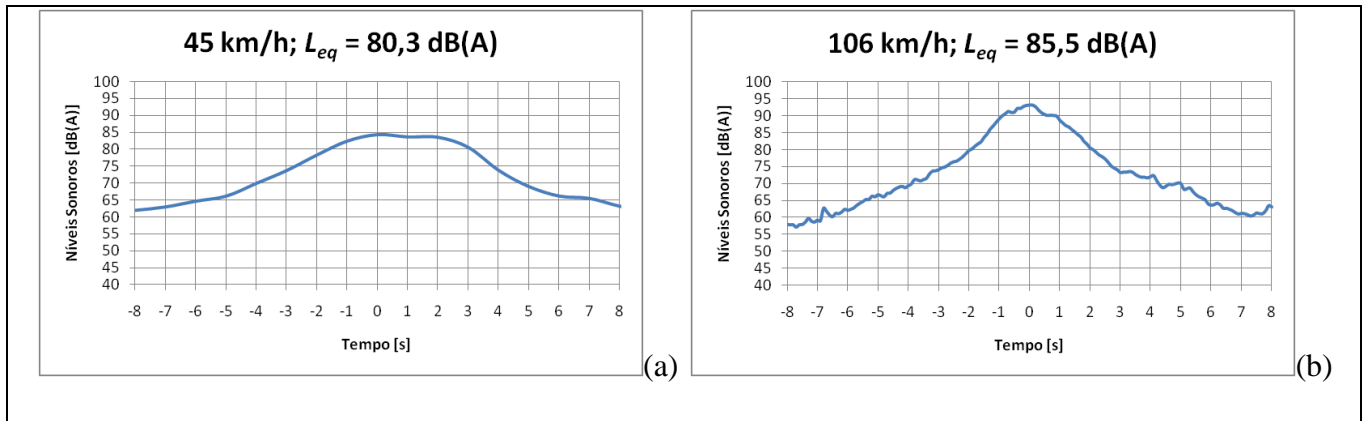
Para determinar o  $L_{eq,Global}$ , associado à passagem de diferentes tipos de comboios e vários comboios do mesmo tipo, deve-se usar a seguinte expressão, ou equivalente:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( \frac{m_1 \cdot t_1 \cdot 10^{\frac{L_{eq,1}}{10}} + m_2 \cdot t_2 \cdot 10^{\frac{L_{eq,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot t_i \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}}}{T} \right)$$

onde  $m_i$  corresponde ao número de comboios do tipo  $i$  que passam no tempo global  $T$ ,  $t_i$  corresponde ao tempo de passagem de cada tipo de comboio  $i$ , e  $L_{eq,i}$  ao nível sonoro contínuo equivalente devido à passagem de um comboio do tipo  $i$  durante o tempo  $t_i$ .

#### Influência do tempo de medição nas passagens individuais

Fazendo uso das medições representadas pela Figura 69 (menor velocidade) e pela Figura 74 (maior velocidade), e estendendo esses gráficos até 8 segundos antes e 8 segundos depois, como se apresenta na Figura 78, verifica-se que se pode considerar, por segurança e para estes casos, um Ruído Residual de 65 dB(A), o que significa que, idealmente, para caracterização do Ruído Particular, deve-se usar, para estes casos, apenas valores maiores ou iguais a 75 dB(A), conforme referido no capítulo “9.6 Residual sound” da norma [6].



**Figura 78: Resultados da medição 2 no Ponto 1, à esquerda (a), e da medição 5 no Ponto 2, à direita (b)**

De acordo com a Figura 78 (a), verifica-se que o maior intervalo de tempo que cumpre valores maiores ou iguais a 75 dB(A), corresponde a cerca de 7 segundos (-3 a 4 segundos; máximo não centrado), pelo que se apresentam, em seguida, os resultados de  $L_E(t_i) = 10 \log(t_i \times 10^{(L_{eq,i}/10)})$  para 7 (-3 a 4), 6 (-2,5 a 3,5), 5 (-2 a 3), 3 (-1 a 2) e 16 (-8 a 8) segundos:

1.  $L_E(7 \text{ s}) = 90,1;$
2.  $L_E(6 \text{ s}) = 90,2. L_E(7 \text{ s}) - L_E(6 \text{ s}) = -0,1;$
3.  $L_E(5 \text{ s}) = 91,1. L_E(7 \text{ s}) - L_E(5 \text{ s}) = -1,0;$
4.  $L_E(3 \text{ s}) = 88,4. L_E(7 \text{ s}) - L_E(3 \text{ s}) = 1,7;$
5.  $L_E(16 \text{ s}) = 90,4. L_E(7 \text{ s}) - L_E(8 \text{ s}) = -0,3.$

De acordo com a Figura 78 (b), verifica-se que o maior intervalo de tempo que cumpre valores maiores ou iguais a 75 dB(A), corresponde a cerca de 5 segundos (-2,5 a 2,5; máximo centrado), pelo que se apresenta, em seguida, os resultados de  $L_E(t_i) = 10 \log(t_i \times 10^{(L_{eq,i}/10)})$  para 5 (-2,5 a 2,5), 4 (-2 a 2), 3 (-1,5 a 1,5), 2 (-1 a 1), 1 (-0,5 a 0,5) e 16 (-8 a 8) segundos:

1.  $L_E(5 \text{ s}) = 95,4;$
2.  $L_E(4 \text{ s}) = 95,3. L_E(5 \text{ s}) - L_E(4 \text{ s}) = 0,1;$
3.  $L_E(3 \text{ s}) = 95,1. L_E(5 \text{ s}) - L_E(1 \text{ s}) = 0,3;$
4.  $L_E(2 \text{ s}) = 94,4. L_E(5 \text{ s}) - L_E(1 \text{ s}) = 1,0;$
5.  $L_E(1 \text{ s}) = 92,2. L_E(5 \text{ s}) - L_{eq}(1 \text{ s}) = 3,2;$

$$6. L_E(16\text{ s}) = 95,5. L_E(5\text{ s}) - L_E(16\text{ s}) = -0,1.$$

Verifica-se assim que no caso da Figura 78 (a), não é conveniente um tempo de integração superior a 7 segundos, devido à influência do Ruído Residual, e um tempo de integração inferior a 6 segundos, pois a variação deixa de ser representativa da passagem.

Verifica-se assim que no caso da Figura 78 (b), não é conveniente um tempo de integração superior a 5 segundos, devido à influência do Ruído Residual, e um tempo de integração inferior a 3 segundos, pois a variação deixa de ser representativa da passagem.

Tais constatações podem ser resumidas da seguinte forma, que se coaduna com o estabelecido no capítulo “8.4.3 Sound exposure level,  $L_E$ ”, no capítulo “9.6 Residual sound” da norma [6] e na demonstração do Apêndice A1.2: Para caracterizar a passagem de comboios o tempo de integração, à passagem, deve conter obrigatoriamente valores desde pelo menos 10 dB abaixo (antes e depois da passagem) do valor máximo, sem atingir valores menores do que 10 dB acima do Ruído Residual.

Resulta assim como conveniente a caracterização de valores, pelo menos de 1s em 1s, e idealmente de 0,1s em 0,1s, durante a passagem, para determinação do intervalo de integração adequado, caso contrário (determinação automática de  $L_{eq}$  durante a passagem, sem verificação da adequabilidade do intervalo) haverá sempre incertezas não negligenciáveis associadas, conforme demonstrado nos exemplos anteriores.

### **6.2.5.3. Categorias com maior influência e incerteza**

Tendo como objectivo a determinação de um valor médio global, e de uma incerteza expandida associada, tendo por base os resultados de medições, tipo:

$$L_{eq,Global} = 65 \pm 4 \text{ dB(A)}$$

verifica-se que a influência de determinada categoria no resultado Global, pode ocorrer em termos de valor médio ou em termos de incerteza expandida (ou de incerteza padrão global associada, dada a proporcionalidade).

**Valor médio**

Tendo por base a expressão:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( \frac{m_1 \cdot t_1 \cdot 10^{\frac{L_{eq,1}}{10}} + m_2 \cdot t_2 \cdot 10^{\frac{L_{eq,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot t_i \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}}}{T} \right) \quad (31)$$

Pode demonstrar-se que têm pouca influência no  $L_{eq,Global}$  as categorias de comboios que verificam a seguinte condição:

$$10 \log \left( \frac{m_i \cdot t_i \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}}}{T} \right) \leq L_{eq,Global} - 10$$

Ou em termos de Nível de Exposição:

$$10 \log \left( \frac{m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T} \right) \leq L_{eq,Global} - 10$$

Verifica-se assim, ser necessário caracterizar previamente todas as categorias, para determinar quais as que verificam tal condição.

**Incerteza padrão**

Tendo por base a referência [153] e a secção F1 do Anexo F da referência [60], pode-se escrever a incerteza padrão Global  $u$ , em função das incertezas padrão  $u_i$  de cada tipo de comboio  $i$ , da seguinte forma [onde  $L_{E,i} = L_{eq,i} + 10 \log(t_i)$ , é o Nível de Exposição, e  $\frac{\partial L_{eq}}{\partial L_{E,i}}$  o denominado Coeficiente de Sensibilidade de  $L_{E,i}$ ]:

$$u = \sqrt{\left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,1}} u_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,2}} u_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} u_i \right)^2}$$

Fazendo:

$$L_{E,Global} = L_{eq,Global} + 10 \log(T)$$

Pode-se demonstrar (Apêndice A1.3) a seguinte relação importante:

$$u = \sqrt{\frac{\left(m_1 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} u_1\right)^2 + \left(m_2 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} u_2\right)^2 + \dots + \left(m_i 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} u_i\right)^2}{10^{\frac{L_{E,Global}}{10}}}}$$

De onde resulta que tem pouca influência na incerteza padrão Global a categoria  $i$  que verifique a seguinte condição:

$$\frac{m_i 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} u_i}{10^{\frac{L_E}{10}}} \leq (u + 0,2)^{1/2} \text{ para } u > 1 \text{ dB}$$

Verifica-se assim, ser necessário caracterizar previamente todas as categorias, para determinar quais as que verificam tais condições.

### Exemplos de aplicação

Nos exemplos seguintes  $\xi$  corresponde ao factor de expansão, e considera-se, por simplicidade, apenas 1 comboio de cada tipo, 1 segundo de tempo de exposição e 10 segundos de tempo global.

Exemplo 1:

1.  $L_{eq,1} = 90 \text{ dB(A)}$ ,  $L_{eq,2} = 80 \text{ dB(A)}$ ,  $u_1 = 2 \text{ dB}$ ,  $u_2 = 10 \text{ dB}$ .
2.  $L_{eq,Global} = 80 \pm \xi \times 2 \text{ dB(A)}$ .

Tem-se assim que, neste exemplo, a categoria 2 tem pouca influência no valor médio e na incerteza padrão global:

1.  $10 \log(10^{(80/10)}/10) = 70 \leq 80 - 10$ .
2.  $10 \times (10^{(80/10)}/10^{(90/10)}) = 1 \leq (2+0,2)^{1/2} \approx 1,5$ .

Exemplo 2:

1.  $L_{eq,1} = 90 \text{ dB(A)}$ ,  $L_{eq,2} = 80 \text{ dB(A)}$ ,  $u_1 = 2 \text{ dB}$ ,  $u_2 = 20 \text{ dB}$ .
2.  $L_{eq,Global} = 80 \pm \xi \times 3 \text{ dB(A)}$ .

Tem-se assim que, neste exemplo, a categoria 2 tem pouca influência no valor médio mas já não tem uma influência negligenciável na incerteza padrão global:

1.  $10\log(10^{(80/10)}/10)=70 \leq 80 -10$ .
2.  $20 \times (10^{(80/10)}/10^{(90/10)})= 2 > (3+0,2)^{1/2} \approx 1,8$ .

#### **6.2.5.4. Metodologia de monitorização**

Face ao explicitado, considera-se que uma metodologia de monitorização, que tenha em conta as incertezas dos resultados e pretenda verificar o (in)cumprimento dos requisitos legais, deverá ser constituída por:

1. Uma Monitorização Preliminar, em que se caracteriza, em cada ponto de monitorização, cada categoria 3 vezes (idealmente em horários diferentes, nomeadamente, se possível, dia, entardecer e noite, para garantir, à partida, uma maior variabilidade) para determinar a influência global de cada categoria. Cada medição deverá registar, idealmente, os valores de 0,1 em 0,1 segundos, durante a passagem dos comboios, para determinar o adequado tempo de integração, face ao valor máximo e ao Ruído Residual, e para detectar eventuais singularidades (tipo uso de apito nos comboios à passagem) que permitam decidir adequadamente pela não consideração ou correcção desse gráfico da medição.
2. Uma Monitorização Complementar, em que se caracteriza complementarmente apenas as categorias mais relevantes (em termos de valor médio e de incerteza padrão) e apenas os pontos onde a incerteza padrão global associada aos resultados da Monitorização Preliminar não é suficiente para determinar se existe ou não incumprimento dos limites aplicáveis. Também nos casos onde a Monitorização Preliminar permite garantir o incumprimento, poderá ser conveniente a realização de Monitorização Complementar, para determinar com o maior rigor possível a magnitude do incumprimento e dimensionar, em conformidade e de forma optimizada as medidas de redução de ruído necessárias. De referir, a este respeito, que de acordo com o explicitado no capítulo 3.1.2 [44,45] uma diferença de apenas 1 dB na eficácia das medidas pode significar uma diferença de cerca de 600000 euros no custo das medidas típicas.

## 6.2.6. Método de medição do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão

Considera-se que o Ruído Aéreo  $L_s$  da Máquina de Percussão é dado por:

$$L_s = L_a \oplus L_e$$

Onde  $L_a$  é o Ruído Aéreo da Máquina de Percussão propriamente dita (radiado directamente pela máquina), e  $L_e$  é o Ruído Estrutural radiado pelos elementos estruturais do edifício devido à percussão.

Assumindo que o “Ruído Aéreo” que se pretende verificar se tem influência no Isolamento a Sons de Percussão é o Ruído Aéreo radiado directamente pela Máquina de Percussão  $L_a$  (ver capítulo 3.2.2), pretende-se desenvolver, neste capítulo, uma metodologia específica para a sua caracterização, tendo por base, parcialmente, o estabelecido no capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26].

### 6.2.6.1. Fonte Sonora Dodecaédrica utilizada

De forma idêntica ao estabelecido no capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26], é necessário, para a metodologia desenvolvida, efectuar, para cada caso, a medição do Isolamento a Sons Aéreos Bruto, entre o compartimento Emissor e Receptor, em conformidade com a metodologia estabelecida na norma [78], para o que é necessária a utilização de uma Fonte Sonora Dodecaédrica.

No âmbito do presente trabalho foi desenvolvida uma Fonte Dodecaédrica, constituída por uma estrutura em ferro interior, sobre a qual são aparafusados 12 pentágonos de contraplacado marítimo, com abertura circular central com diâmetro igual ao diâmetro interior dos altifalantes, os quais estão aparafusados às placas de madeira e ligados electronicamente entre si, conforme se ilustra na Figura 79.

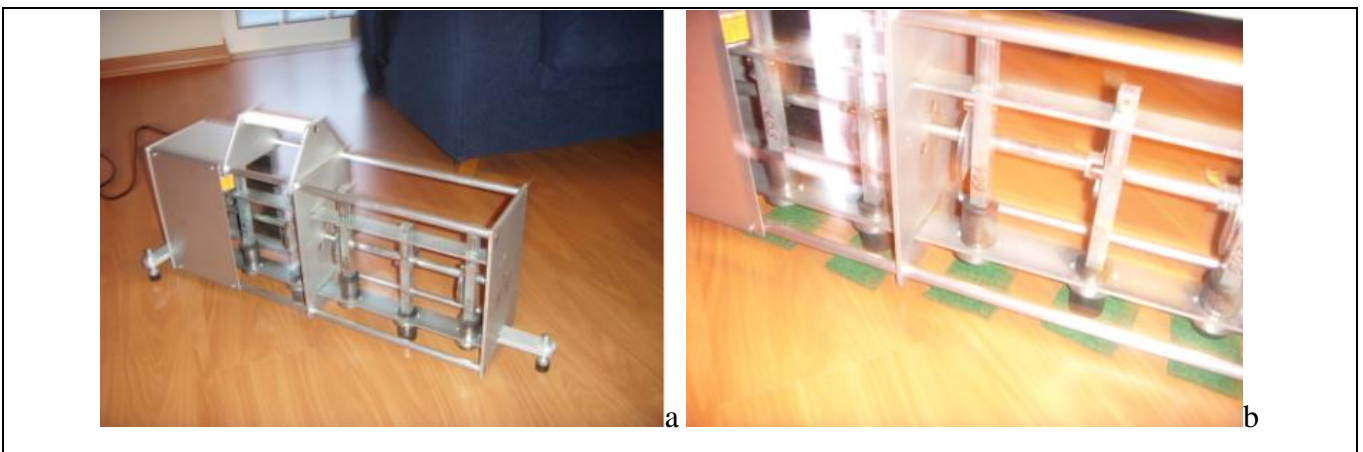


Figura 79: Aspecto interior da Fonte Dodecaédrica desenvolvida

Com vista a verificar a adequabilidade acústica da Fonte desenvolvida foi efectuada [154,155] medição da sua potência sonora, por Bandas de frequência (Espectro), e da sua direccionalidade, assim como de Fonte Dodecaédrica existente no mercado, para comparação, através de medição em campo livre sobre superfície reflectora (norma [33]), cujos resultados evidenciam a adequabilidade da Fonte desenvolvida, para a medição do Isolamento a Sons Aéreos em conformidade com a norma [78].

### 6.2.6.2. Metodologia proposta

A metodologia que se propõe é em “tudo” idêntica à estabelecida no capítulo 5.12.8 da norma [25], e B.6 da norma [26], sendo apenas diferente na caracterização do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão no compartimento Emissor, pois pretende-se caracterizar o Ruído Aéreo radiado directamente pela Máquina de Percussão. Propõe-se assim a efectivação da medição do Ruído Aéreo no compartimento Emissor, com a Máquina de Percussão em funcionamento normal, mas sendo colocado por baixo de cada martelo um elemento resiliente (ver Figura 80) que faça prevalecer o Ruído Aéreo radiado directamente pela Máquina de Percussão e torne desprezável o Ruído Estrutural induzido pela percussão. Na medição do Isolamento a Sons de Percussão será utilizada a Máquina de Percussão sem a colocação do material resiliente.

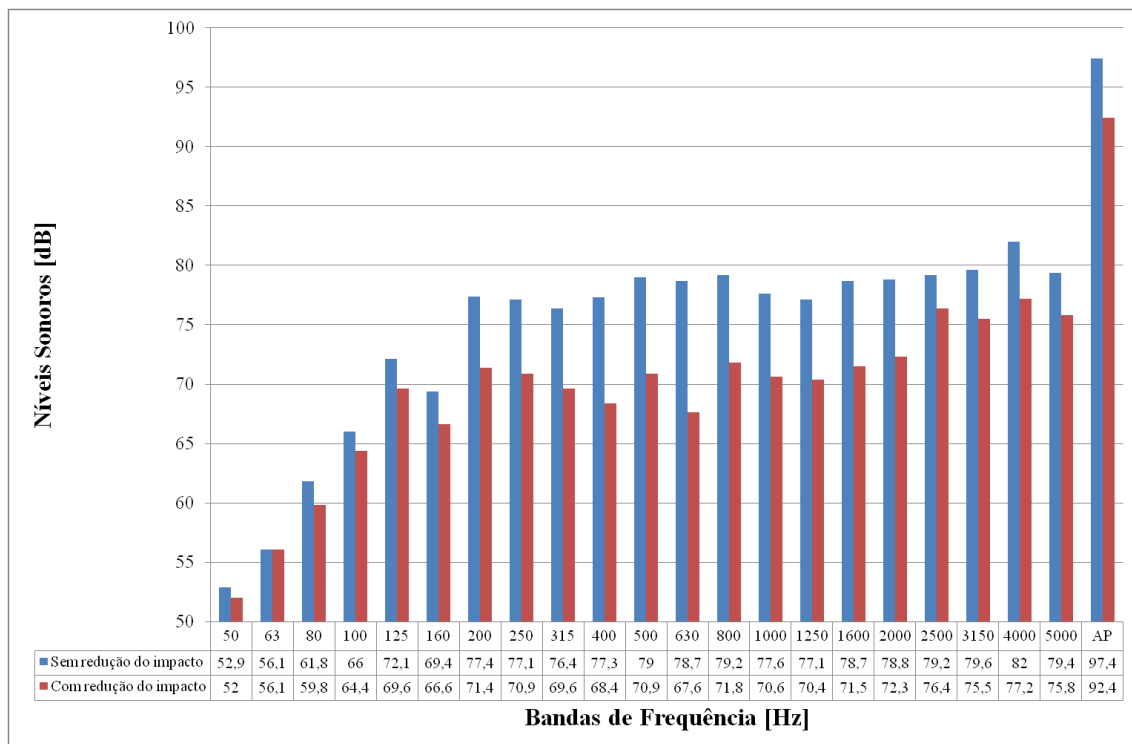


**Figura 80: Máquina de Percussão, em situação normal (a) e com interposição localizada de material resiliente (b)**

### 6.2.6.3. Ensaio realizado

Com vista a demonstrar a pertinência desta metodologia, apresenta-se exemplo de medição *in situ* de isolamento a sons de percussão onde não existe influência do Ruído Aéreo  $L_a$  (obtido por interposição de material resiliente por baixo dos martelos de percussão) mas existe influência de  $L_s$ .

Os resultados dos níveis sonoros, no compartimento Emissor, com e sem o material resiliente, são apresentados na Figura 81. O isolamento a sons aéreos entre os espaços é apresentado da Figura 82 e os níveis sonoros obtidos no compartimento Receptor, devido à percussão normal da máquina no compartimento Emissor, são apresentados no Quadro 49, onde se apresentam também, para comparação, os níveis sonoros medidos no compartimento Emissor, com e sem material resiliente, subtraídos dos valores do isolamento bruto a sons aéreos  $D$  obtido.



**Figura 81: Níveis sonoros medido no compartimento Emissor com e sem interposição de material resiliente**

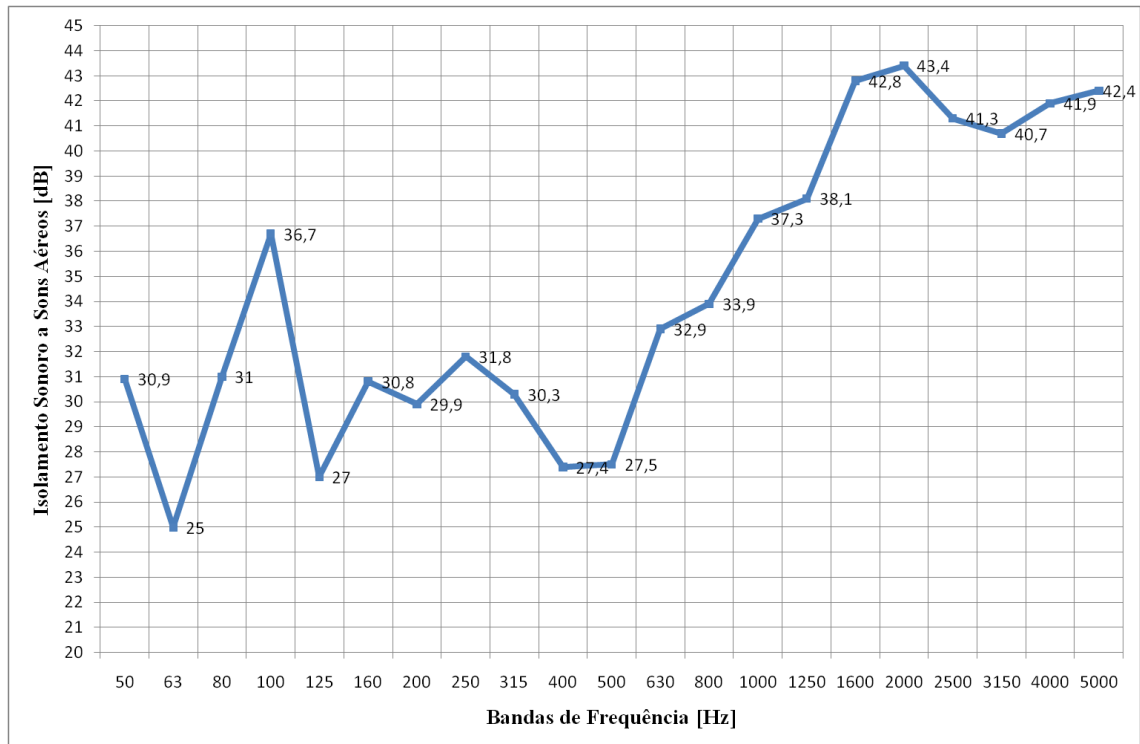


Figura 82: Isolamento  $D$  a sons aéreos entre os compartimentos

Quadro 48: Comparação do Ruído Aéreo e Estrutural de Máquina de Percussão

Bandas de frequência [Hz]	Níveis de percussão no compartimento Receptor $L_r$ [dB]	$L_s - D$ [dB]	$L_a - D$ [dB]	$L_r - (L_s - D)$ [dB]	$L_r - (L_a - D)$ [dB]
50	50,4	40,9	11,1	38,4	39,3
63	47	35	21,1	25,9	25,9
80	46,3	41	18,8	25,5	27,5
100	45,3	46,7	17,7	26	27,6
125	44,3	37	32,6	<b>9,2</b>	11,7
160	46,5	40,8	25,8	17,9	20,7
200	47,9	39,9	31,5	10,4	16,4
250	48,8	41,8	29,1	13,5	19,7
315	52,4	40,3	29,3	16,3	23,1
400	54,7	37,4	31	14,8	23,7
500	50,8	37,5	33,4	<b>9,3</b>	17,4
630	50,8	42,9	24,7	15	26,1
800	51,8	43,9	27,9	16,5	23,9
1000	52,5	47,3	23,3	22,2	29,2
1250	52,4	48,1	22,3	23,4	30,1
1600	53,4	52,8	18,7	27,5	34,7
2000	53,6	53,4	18,9	28,2	34,7
2500	53,2	51,3	25,1	25,3	28,1
3150	48,6	50,7	24,8	19,7	23,8
4000	42	51,9	25,3	11,9	16,7
5000	34,3	52,4	23,4	<b>7,3</b>	10,9

De notar que, uma vez que a eficácia do material resiliente na redução do Ruído Estrutural devido à percussão não é 100 %, julga-se que deve ser evitada a correcção (subtracção energética) entre o ruído medido, no compartimento Receptor, com a máquina em situação normal de operação e a máquina com interposição de material resiliente, pois a não eficácia total do material resiliente faz com que o Ruído Aéreo  $L_a$  medido seja sempre majorativo.

Assim deverá apenas verificar-se a não influência do Ruído Aéreo  $L_a$ , através da sua comparação, por Bandas de frequência, com os valores de  $L_r$ , devendo a diferença ser maior ou igual a 10 dB. Se a diferença não for maior ou igual a 10 dB, o isolamento a sons de percussão determinado corresponderá a um valor majorativo.

Verifica-se assim que, no exemplo do Quadro 48,  $L_s$  não está 10 dB ou mais abaixo de  $L_r$ , nas Bandas de 125 Hz, 500 Hz e 5000 Hz, mas  $L_a$  encontra-se 10 dB ou mais abaixo de  $L_r$  em todas as Bandas, não condicionando assim os resultados (quanto mais baixo for o Ruído Aéreo  $L_a$  da Máquina de Percussão, mais serão as situações em que o resultado não será condicionado).

#### **6.2.6.4. Informação do Ruído Aéreo nas especificações das Máquinas de Percussão**

Conforme referido atrás, quanto mais baixo for o Ruído Aéreo  $L_a$  da Máquina de Percussão, em maior número serão as situações em que o resultado do isolamento a Sons de percussão não será condicionado, pelo que se trata de um factor potencialmente diferenciador e que poderia, ou deveria, ser explicitado pelos fabricantes de Máquinas de Percussão, o que infelizmente ainda não acontece na generalidade dos casos.

De notar que caso existisse informação do fabricante relativamente ao Ruído Aéreo  $L_a$ , nomeadamente através de um valor de Nível de Potência Sonora  $L_w$  por Bandas de frequência (caracterização em Campo Livre), o Ruído Aéreo  $L_a$  no compartimento Emissor poderia ser determinado sem recorrer a novas medições desse Ruído Aéreo no compartimento Emissor, através da equação (32) [156,157], ou similar, onde  $A_{eq}$  é a Área de Absorção Sonora Equivalente do compartimento Emissor.

$$L_a \approx L_w - 10 \log(A_{eq}) + 6 \quad (32)$$

## **6.3. Previsão relacionando medições**

### **6.3.1. Introdução**

Apresentam-se desenvolvimentos de previsão relacionando medições, em termos de Ruído Ambiente Exterior (capítulo 6.3.2) e em termos de Vibração Ambiente (capítulo 6.3.3).

Relativamente ao Ruído Ambiente Exterior, o método que se apresenta é um método geral original, de resolução de um sistema de equações que relacionam as incógnitas e as constantes (valores medidos e/ou conhecidos de alguma forma) com interesse, que pode ser estendido a Ruído Ambiente Interior, conforme já foi iniciado na referência [158], e que pode ser aplicado em muitas situações particulares de medição/previsão de Ruído Ambiente Exterior, nomeadamente os casos exemplificados no capítulo 6.3.2.10. Considera-se assim que uma das principais vantagens do Método Relacional, cujas bases se apresentam, é a elevada diversidade de hipóteses de aplicabilidade, na medida em que poderá ser sempre usado, a partir do momento em que seja possível escrever um sistema de equações, possível e determinado, relacionando as grandezas acústicas que se pretendem obter. Uma vez que o Método Relacional corresponde a uma conjugação de métodos puramente experimentais com métodos puramente teóricos, adquire assim parte das vantagens e das desvantagens desses métodos. Em termos de vantagens, o Método Relacional, quando comparado com métodos puramente experimentais, pode apresentar maior abrangência (caracterização de uma maior número de situações com um menor número de pontos de medição), como se exemplifica no capítulo 6.3.2.10. Quando comparado com métodos puramente teóricos, o Método Relacional pode conseguir representar melhor a realidade, na medida em que tem associado valores experimentais. De referir que no caso do 1.º exemplo do capítulo 6.3.2.10, admitindo que a Fonte de ruído corresponde a uma via de tráfego, se forem efectuadas contagens de tráfego e substituídos os valores dessas contagens nos modelos usuais de previsão dos níveis sonoros, para monitorização indirecta dos locais, os valores associados vão ser mais incertos do que os valores obtidos através do Método Relacional, uma vez que um mesmo valor de dados de tráfego corresponde, nos modelos puramente teóricos, a um único valor de Nível Sonoro em um dado Receptor, enquanto no Método Relacional pode corresponder a diferentes valores – o que pode representar melhor a realidade, pois, neste caso, os diferentes comportamentos dos condutores e as variações da emissão sonora do mesmo tipo de veículos, podem fazer com que iguais dados de tráfego correspondam a diferentes níveis sonoros. Em termos de desvantagens, o Método Relacional

apresenta, relativamente aos métodos puramente teóricos, menor abrangência com igual esforço, e, relativamente aos métodos puramente experimentais, maior incerteza nos resultados.

Relativamente à Vibração Ambiente, o método que se apresenta é um método específico, com particular importância, dada a actual inexistência de métodos normalizados de previsão da vibração em Portugal, que faz uso de medições de vibração *in situ* para determinação das Funções de Transferência de vibração, entre locais, com base nas quais é possível prever a vibração associada a um determinado projecto com base em valores de vibração de referência associados. Destaca-se neste método a descoberta, por dedução matemática (Apêndice A1.4), da relação entre os Factores de Atenuação para Fontes Pontuais e para Fontes Lineares, com importante aplicação no método.

### 6.3.2. Ruído Ambiente Exterior

O Método Relacional, que aqui se apresenta teve na sua génese a seguinte questão [159]: Como fazer para obter o nível de pressão sonora em um determinado ponto genérico em função dos níveis de pressão sonora medidos em outros pontos?

Para responder a esta questão procurou-se, em primeiro lugar, conhecer os modelos gerais disponíveis para Ruído Ambiente Exterior, designadamente as equações gerais constantes na norma [28] e, em seguida, estabelecer as relações teóricas entre diferentes pontos para tentar encontrar uma forma geral de obtenção do nível de pressão sonora em um determinado ponto genérico em função dos níveis de pressão sonora medidos em outros pontos. Este processo conduziu:

1. à utilização de um sistema de equações, relacionando diferentes incógnitas;
2. à necessidade de algumas condicionantes para que o sistema seja resolúvel;
3. à obtenção de soluções gerais para determinação de algumas incógnitas.

Afigurou-se adequado denominar este método por Método Relacional, o qual permite assim não só a determinação da incógnita base associada à questão enunciada anteriormente (nível de pressão sonora em um determinado ponto genérico) como também a determinação das restantes incógnitas associadas ao sistema de equações em causa. Uma vez que o método combina métodos teóricos e experimentais, pode também ser usado para verificar a adequabilidade de um determinado método teórico a uma dada realidade acústica que pode ser medida.

Por simplicidade, não se explicita nas expressões seguintes o facto de as mesmas serem dependentes da frequência (conforme estabelecido na ISO 9613-2) pelo que para obtenção de valores globais de

forma rigorosa é necessário efectuar os cálculos apresentados para cada Banda de frequência e efectuar a respectiva soma energética.

### 6.3.2.1. ISO 9613-2

De acordo com o estabelecido na norma [28], tem-se a seguinte equação geral para obtenção do nível de pressão sonora em um determinado ponto genérico ( $L_G$ ) na envolvente de uma única Fonte Pontual com um determinado nível de potência sonora ( $L_W$ ):

$$L_G = L_W - A$$

onde  $A$  corresponde a um factor de atenuação, dependente de diferentes variáveis, nomeadamente, de acordo com a Norma [28]:

1. Correção de Directividade ( $D_c$ );
2. Divergência geométrica ( $A_{div}$ );
3. Absorção atmosférica ( $A_{atm}$ );
4. Efeito do solo ( $A_{gr}$ );
5. Barreiras ( $A_{bar}$ );
6. Miscelânea de efeitos ( $A_{misc}$ ).

podendo escrever-se (de notar que na norma [28],  $D_c$  aparece fora do factor  $A$  com valor positivo):

$$A = -D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Para  $s$  Fontes, resultam  $s$  níveis de pressão sonora associados a cada Fonte, no mesmo ponto genérico  $G$ , que são adicionados energeticamente para obtenção do nível de pressão sonora global [expressão (5) da norma, para uma determinada Banda de frequências]:

$$L_G = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{W1} - A_1}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Ws} - A_s}{10}} \right) \quad (33)$$

### 6.3.2.2. Método Relacional

Para tentar relacionar diferentes pontos vai-se escrever um sistema de equações, baseado na expressão (33), para  $m$  diferentes pontos de medição ( $M$ ), onde se conhecem os níveis de pressão sonora através

de medição, e para um ponto genérico ( $G$ ) onde se pretende determinar o nível de pressão sonora com base nos resultados das medições nos pontos  $M$ . Resultam então as seguintes  $m+1$  equações:

$$\begin{cases} L_{M1} = 10\log \left( 10^{\frac{L_{W1}-A_{S1M1}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Ws}-A_{SsM1}}{10}} \right) \\ \vdots \\ L_{Mm} = 10\log \left( 10^{\frac{L_{W1}-A_{S1Mm}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Ws}-A_{SsMm}}{10}} \right) \\ L_G = 10\log \left( 10^{\frac{L_{W1}-A_{S1G}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Ws}-A_{SsG}}{10}} \right) \end{cases}$$

Estas equações, não lineares, podem ser transformadas em equações lineares através da seguinte substituição de variáveis:

$$\begin{aligned} l_G &= 10^{\frac{L_G}{10}} \\ l_{M1} &= 10^{\frac{L_{M1}}{10}} \\ &\vdots \\ l_{Mm} &= 10^{\frac{L_{Mm}}{10}} \\ l_{W1} &= 10^{\frac{L_{W1}}{10}} \\ &\vdots \\ l_{Ws} &= 10^{\frac{L_{Ws}}{10}} \\ a_{S1M1} &= 10^{\frac{A_{S1M1}}{10}} \\ &\vdots \\ a_{SsMm} &= 10^{\frac{A_{SsMm}}{10}} \\ a_{S1G} &= 10^{\frac{A_{S1G}}{10}} \\ &\vdots \\ a_{SsG} &= 10^{\frac{A_{SsG}}{10}} \end{aligned}$$

Resulta então o seguinte sistema de  $m + 1$  equações lineares:

$$\begin{cases} l_{M1} = a_{S1M1} \times l_{W1} + \dots + a_{SSM1} \times l_{Ws} \\ \vdots \\ l_{Mm} = a_{S1Mm} \times l_{W1} + \dots + a_{SSMm} \times l_{Ws} \\ l_G = a_{S1G} \times l_{W1} + \dots + a_{SSG} \times l_{Ws} \end{cases} \quad (34)$$

O sistema de equações (34) possui assim 3 tipos de incógnitas e de constantes, que se vão denominar de acordo com a variável originária associada (admite-se que  $l_M$  corresponde sempre a uma constante conhecida, obtida através de medição, e não a uma incógnita):

1.  $l_G$ : nível sonoro no Receptor genérico.
2.  $l_W$ : nível de potência sonora.
3.  $a$ : factor de atenuação.

### 6.3.2.3. Regras Gerais do Método Relacional

De acordo com a referência [160], para que o sistema de equações não homogéneo associado à expressão (34) anterior, seja possível e determinado, é necessário verificar a seguinte regra geral (RG):

RG: O número de equações tem de ser igual ao número de incógnitas independentes.

Em termos estritos de matemática trata-se de uma regra elementar que não necessitaria sequer de ser apresentada, contudo em termos de aplicação prática, tem um importante significado, como se procurará evidenciar em seguida, razão pela qual se considerou adequada a sua explicitação.

### 6.3.2.4. Determinação do nível de potência sonora

Para determinar os  $l_W$ , com base no Método Relacional,  $l_G$  deixa de ter interesse, e a expressão (34) simplifica-se para:

$$\begin{cases} l_{M1} = a_{S1M1} \times l_{W1} + \dots + a_{SSM1} \times l_{Ws} \\ \vdots \\ l_{Mm} = a_{S1Mm} \times l_{W1} + \dots + a_{SSMm} \times l_{Ws} \end{cases} \quad (35)$$

ou seja, a regra geral do Método Relacional passa a ter a seguinte forma específica.

RG ( $l_W$ ): Para determinação dos níveis de potência sonora das Fontes ( $l_W$ ), através do Método Relacional, é necessário que todos os factores de atenuação ( $a$ ) correspondam a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos) e que o número de pontos de medição seja igual ao número de Fontes independentes.

### 6.3.2.5. Determinação do factor de atenuação

Para determinar os  $a$ , com base no Método Relacional,  $l_G$  volta a deixar de ter interesse, e a expressão (34) volta a simplificar-se para a expressão (35) anterior, e é não só necessário que todos os  $l_W$  correspondam a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos), como também pode ser necessário que alguns factores de atenuação correspondam a constantes conhecidas.

Sendo o número de factores de atenuação igual a  $s \times m$ , e sendo necessário que o número de incógnitas seja igual ao número de equações, resulta a seguinte expressão para o número de factores de atenuação ( $k_A$ ), que têm de corresponder a constantes conhecidas:

$$k_A = s \times m - m = m \times (s - 1) \quad (36)$$

Tem especial interesse o caso em que  $k_A = 0$ , o que, de acordo com a expressão (36), só ocorre para  $s = 1$ , ou seja, quando existe apenas uma Fonte sonora com influência nos pontos de medição, independentemente do número de pontos de medição.

A regra geral do Método Relacional passa assim a ter a seguinte forma específica.

RG (a): Para determinação dos factores de atenuação (a), através do Método Relacional, é necessário que todos os níveis de potência sonora ( $l_W$ ) correspondam a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos) e que sejam seleccionados pontos de medição onde prevalece apenas uma Fonte sonora.

A expressão (34) simplifica-se assim para a seguinte equação geral:

$$l_M = a_{SM} \times l_W \quad (37)$$

### 6.3.2.6. Determinação do nível sonoro no Receptor genérico

Para determinar  $l_G$ , com base no Método Relacional, é necessário então verificar uma das seguintes 3 regras gerais:

- RG ( $l_G$ , 1): Todos os factores de atenuação (a) correspondem a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos) e o número de pontos de medição é igual ao número de Fontes independentes.

- RG ( $l_G$  2): Todos os níveis de potência sonora ( $l_w$ ) correspondem a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos) e só serão seleccionados pontos de medição onde prevalece apenas uma Fonte sonora.
- RG ( $l_G$  3): Alguns factores de atenuação ( $a$ ) e alguns níveis de potência sonora ( $l_w$ ) correspondem a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos), fazendo com que, em conjunto com o número de pontos de medição, o sistema de equações seja resolúvel.

De notar que as regras gerais RG ( $l_G$  1) e RG ( $l_G$  2) são iguais, respectivamente, às regras gerais RG ( $l_w$ ) e RG ( $a$ ).

A RG ( $l_G$  3) conduz a uma combinação de variáveis e de constantes que não será tratada neste trabalho.

### 6.3.2.7. Soluções Gerais para incógnitas Independentes

**Todos os factores de atenuação correspondem a constantes**

Para o caso em que se pretende considerar que todos os factores de atenuação ( $a$ ) correspondem a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos), tem-se que o sistema de equações associado à expressão (34) pode ser resolvido por recurso à Regra de Cramer [161] e ao Teorema de Laplace [160], de onde resulta:

$$L_G = 10 \log \left( \frac{\Lambda_{G1} \times 10^{\frac{LM1}{10}} + \dots + \Lambda_{Gm} \times 10^{\frac{LMm}{10}}}{\Lambda_G} \right) \quad (38)$$

onde:

$$\Lambda_G = -1(-1)^{m+1+s+1} \begin{vmatrix} a_{S1M1} & a_{S2M1} & \dots & a_{SSM1} \\ a_{S1M2} & a_{S2M2} & \dots & a_{SSM2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{S1Mm} & a_{S2Mm} & \dots & a_{SSMm} \end{vmatrix}$$

$$\Lambda_{Gi} = (-1)^{i+s+1} \begin{vmatrix} a_{S1M1} & a_{S2M1} & \dots & a_{SSM1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{S1M(i-1)} & a_{S2M(i-1)} & \dots & a_{SSM(i-1)} \\ a_{S1M(i+1)} & a_{S2M(i+1)} & \dots & a_{SSM(i+1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{S1Mm} & a_{S2Mm} & \dots & a_{SSMm} \\ a_{S1G} & a_{S2G} & \dots & a_{SSG} \end{vmatrix}$$

Com  $1 \leq i \leq m$ .

Como  $m = s$ , resulta:

$$-1(-1)^{m+1+s+1} = -1$$

Resulta também, por aplicação directa da Regra de Cramer [161]:

$$L_{Wi} = 10 \log \left( \frac{\Lambda_{Wi}}{\Lambda_W} \right) \quad (39)$$

onde:

$$\Lambda_W = \begin{vmatrix} a_{S1M1} & a_{S2M1} & \cdots & a_{SsM1} \\ a_{S1M2} & a_{S2M2} & \cdots & a_{SsM2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{S1Mm} & a_{S2M1} & \cdots & a_{SsMm} \end{vmatrix}$$

$$\Lambda_{Wi} = \begin{vmatrix} a_{S1M1} & \cdots & a_{S(i-1)M1} & l_{M1} & a_{S(i+1)M1} & \cdots & a_{SsM1} \\ a_{S1M2} & \cdots & a_{S(i-1)M2} & l_{M2} & a_{S(i+1)M2} & \cdots & a_{SsM2} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{S1Mm} & \cdots & a_{S(i-1)Mm} & l_{M3} & a_{S(i+1)Mm} & \cdots & a_{SsMm} \end{vmatrix}$$

Denominam-se os diferentes  $\Lambda_G$  e  $\Lambda_W$  por *Determinantes das Matrizes de Atenuação*.

### Todos os níveis de potência sonora correspondem a constantes

Para o caso em que se pretende considerar que todos os níveis de potência sonora ( $l_W$ ) correspondem a constantes conhecidas (possibilidade de cálculo indirecto através de outros métodos), tem-se que a expressão (37) conduz ao seguinte resultado directo, simples e genérico:

$$A_{SM} = L_W - L_M \quad (40)$$

### 6.3.2.8. Cálculos indirectos

De acordo com o exposto anteriormente, pode ser necessário, para aplicação completa do Método Relacional, efectuar o cálculo indirecto, através de outros métodos, dos níveis de potência sonora ( $l_W$ ) e/ou dos factores de atenuação ( $a$ ). Indicam-se em seguida alguns métodos actualmente disponíveis que poderão ser usados.

### **Níveis de potência sonora (medição)**

Considera-se ser de referir as seguintes normas internacionais [e22], europeias [e23] e portuguesas [e24], para obtenção dos níveis de potência sonora através de medição: EN ISO 3740: 2000 [162], EN ISO 3741: 2010 [163], EN ISO 3743-1: 1994 [164], EN ISO 3743-2: 2009 [165], NP EN ISO 3744: 1999. [33], EN ISO 3745: 2009 [166], EN ISO 3746: 2009 [167], EN ISO 3747: 2009 [168], ISO 8297: 1994 [169], EN ISO 9614-1: 2009 [170], EN ISO 9614-2: 1996 [171] e EN ISO 9614-3 2009 [172].

### **Factores de atenuação (medição)**

Considera-se ser de referir as seguintes normas internacionais [e22], normas europeias [e23], normas nórdicas [e25] e normas portuguesas [e24], para obtenção de alguns factores de atenuação, ou de variáveis associadas, através de medição: NP EN ISO 354: 2007 [173], ISO 10847: 1997 [11], EN ISO 11819-1: 2001 [24], EN ISO 11821: 1997 [174], ISO 13472-1: 2002 [175], ISO 17497-1: 2004 [176], NP EN 1793-1: 2008 [177], NP EN 1793-2: 2008 [178], NP EN 1793-3: 2008 [179], CEN/TS 1793-4: 2003 [180], CEN/TS 1793-5: 2003 [181] e NT ACOU 104: 1999 [104].

### **Níveis de potência sonora e Factores de atenuação (cálculo)**

Uma vez que existem vários *softwares* disponíveis [43], os mesmos podem e devem ser utilizados para cálculo indirecto dos níveis de potência sonora e/ou dos factores de atenuação pretendidos.

Poderão também ser usadas as expressões específicas, constantes em normas ou referências bibliográficas direccionadas, que relacionam os níveis de potência sonora e os factores de atenuação com outras variáveis.

Por exemplo, no caso dos níveis de potência sonora, para o tráfego rodoviário, é usual a consideração das seguintes variáveis com influência [43]:

1. Tipo de veículo, quantidade e velocidade de circulação de cada tipo de veículo;
2. Tipo de fluxo;
3. Tipo de pavimento;
4. Perfil longitudinal da via (subida, descida).

No caso dos factores de atenuação, considera-se ser de salientar que o factor de directividade ( $D_c$ ) é usualmente obtido através dos métodos referidos acima, e que a norma [28], apresenta equações específicas para determinação dos restantes factores, destacando-se o caso da Divergência Geométrica ( $A_{div}$ ), que assume a seguinte expressão:

$$A_{div} = 10 \log (4\pi d^2) \quad (41)$$

onde  $d$  corresponde à distância à Fonte sonora.

### 6.3.2.9. Método Relacional para subvariáveis

Conforme referido anteriormente, os níveis de potência sonora e os factores de atenuação podem ser calculados com base em variáveis físicas com influência, as quais, conhecendo as expressões de relação, podem ser também determinadas pelo Método Relacional.

Por exemplo, no caso do nível de potência sonora de vias de tráfego rodoviário, a maioria dos métodos distingue dois tipos de veículos (veículos Ligeiros e veículos Pesados), pelo que se pode escrever:

$$L_W = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{WLigeiros}}{10}} + 10^{\frac{L_{WPesados}}{10}} \right)$$

$$l_W = l_{WLigeiros} + l_{WPesados}$$

ou seja, as incógnitas na expressão (34) passam para o dobro, logo é necessário duas vezes mais pontos de medição, para tornar o sistema possível e determinado.

### 6.3.2.10. Exemplos simples de aplicação

#### Monitorização indirecta (nível sonoro em Receptor genérico)

Considere-se o exemplo da necessidade de monitorização dos níveis sonoros em 2 edifícios na mesma zona – a diferentes distâncias da Fonte de ruído e com diferentes Factores de Atenuação – apenas com um ponto de medição *in situ*.

De acordo com o Método Relacional pode-se escrever:

$$\begin{cases} L_M = L_W - A_M \\ L_G = L_W - A_G \end{cases}$$

Assim, dada a simplicidade, é fácil verificar que:

$$L_G = L_M - A_G + A_M$$

Este resultado pode também ser obtido através da expressão (38) (útil em casos mais complexos), verificando as seguintes igualdades:

$$\Lambda_G = -1(-1)^{1+1+1+1} \left| 10^{-\frac{A_M}{10}} \right| = -10^{-\frac{A_M}{10}}$$

$$\Lambda_{G1} = (-1)^{1+1+1} \left| 10^{-\frac{A_G}{10}} \right| = -10^{-\frac{A_G}{10}}$$

$$L_G = 10 \log \left( \frac{10^{-\frac{A_G}{10}} \times 10^{\frac{L_M}{10}}}{10^{-\frac{A_M}{10}}} \right) = L_M - A_G + A_M$$

Pode-se então escrever para os dois edifícios:

$$L_{G1} = L_M - A_{G1} + A_M$$

$$L_{G2} = L_M - A_{G2} + A_M$$

Recorrendo a um *software* de modelação acústica de exteriores (por exemplo o Cadna A; ver Apêndice A4), devidamente parametrizado para o caso em causa, pode-se determinar  $L_{G1}$ ,  $L_{G2}$  e  $L_M$ .

Admitam-se os seguintes resultados exemplificativos, obtidos pelo software:  $L_{G1} = 60$  dB;  $L_{G2} = 50$  dB;  $L_M = 70$  dB.

Tem-se então:

$$60 = 70 - A_{G1} + A_M$$

$$50 = 70 - A_{G2} + A_M$$

Logo:

$$-A_{G1} + A_M = -10$$

$$-A_{G2} + A_M = -20$$

Pode-se então escrever as seguintes expressões que relacionam os níveis sonoros medidos no ponto de medição com os níveis sonoros que se prevêem – face aos valores medidos – nos edifícios que se pretendem monitorizar indirectamente:

$$L_{G1} = L_M - 10 \quad (42)$$

$$L_{G2} = L_M - 20 \quad (43)$$

Estas expressões podem ser usadas também para verificar a adequabilidade do método teórico, através da realização de medições directas nos Receptores  $L_G$  e comparação dos resultados. De notar que ao comparar apenas os níveis de pressão sonora num mesmo ponto, em termos de medição e de previsão, e se existirem diferenças, não se saberá se essas diferenças se ficam a dever aos níveis de potência sonora ou aos factores de atenuação. No caso das expressões (42) e (43), eventuais diferenças nos  $L_G$ , previstos e medidos, significam de forma mais restritiva diferenças nos factores de atenuação.

### Eficácia de pavimento Menos ruidoso (nível de potência sonora)

Considere-se o exemplo da necessidade de determinação da eficácia na redução de ruído de um pavimento menos ruidoso a ser implementado apenas num sentido de uma via com dois sentidos (via 1 e via 2).

Verificando que se tem 4 Fontes sonoras distintas (2 antes e 2 depois da implementação do pavimento):

1.  $L_{WV1a}$ : Nível de potência sonora da via 1 antes da implementação do pavimento;
2.  $L_{WV2a}$ : Nível de potência sonora da via 2 antes da implementação do pavimento;
3.  $L_{WV1d}$ : Nível de potência sonora da via 1 depois da implementação do pavimento;
4.  $L_{WV2d}$ : Nível de potência sonora da via 2 depois da implementação do pavimento;

e tendo em conta a regra geral RG ( $l_w$ ) do Método Relacional, são necessários 2 pontos de medição antes da implementação do pavimento menos ruidoso e 2 pontos de medição depois da implementação do pavimento menos ruidoso.

Pode-se assim escrever o seguinte sistema de equações, a ser resolvido para a situação antes e para a situação depois do pavimento menos ruidoso:

$$\begin{cases} L_{M1} = 10\log \left( 10^{\frac{L_{WV1a} - A_{V1M1}}{10}} + 10^{\frac{L_{WV2a} - A_{V2M1}}{10}} \right) \\ L_{M2} = 10\log \left( 10^{\frac{L_{WV1d} - A_{V1M2}}{10}} + 10^{\frac{L_{WV2d} - A_{V2M2}}{10}} \right) \end{cases}$$

Por recurso à expressão (39) e tendo em conta a devida substituição de variáveis resulta:

$$L_{WV1a} = 10 \log \left( \frac{\begin{vmatrix} 10^{\frac{L_{M1a}}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{\frac{L_{M2a}}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}} \right)$$

$$L_{WV2a} = 10 \log \left( \frac{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{\frac{L_{M1a}}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{\frac{L_{M2a}}{10}} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}} \right)$$

$$L_{WV1d} = 10 \log \left( \frac{\begin{vmatrix} 10^{\frac{L_{M1d}}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{\frac{L_{M2d}}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}} \right)$$

$$L_{WV2d} = 10 \log \left( \frac{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{\frac{L_{M1d}}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{\frac{L_{M2d}}{10}} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}} \\ 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} & 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} \end{vmatrix}} \right)$$

Isto é:

$$L_{WV1a} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{L_{M1a}}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{\frac{L_{M2a}}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}}{10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}} \right)$$

$$L_{WV2a} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{L_{M2a}}{10}} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} - 10^{\frac{L_{M1a}}{10}} 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}}}{10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}} \right)$$

$$L_{WV1d} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{L_{M1d}}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{\frac{L_{M2d}}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}}{10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}} \right)$$

$$L_{WV2d} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{L_{M2d}}{10}} 10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} - 10^{\frac{L_{M1d}}{10}} 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}}}{10^{-\frac{AV_1M_1}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_2}{10}} - 10^{-\frac{AV_1M_2}{10}} 10^{-\frac{AV_2M_1}{10}}} \right)$$

Para determinar os factores de atenuação pode-se recorrer a um *software* disponível (por exemplo o Cadna A; ver Apêndice A4) e colocar a zero a emissão sonora de uma das vias e determinar o nível de pressão sonora nos Receptores pretendidos (pontos de medição), devido apenas a essa via. Para esta via precisa-se de saber o nível de potência sonora (a maioria dos *softwares* disponíveis permite saber o valor deste parâmetro para cada via) e os níveis de pressão sonora nos Receptores. Supondo que os

resultados são:  $L_{WV1} = 90$  dB(A);  $L_{WV2} = 90$  dB(A);  $L_{M1W1} = 60$  dB(A);  $L_{M2W1} = 55$  dB(A);  $L_{M1W2} = 55$  dB(A);  $L_{M2W2} = 60$  dB(A).

Tem-se:

$$A_{V1M1} = L_{WV1} - L_{M1W1} = 90 - 60 = 30 \text{ dB(A)}$$

$$A_{V1M2} = L_{WV1} - L_{M2W1} = 90 - 55 = 35 \text{ dB(A)}$$

$$A_{V2M1} = L_{WV2} - L_{M1W2} = 90 - 55 = 35 \text{ dB(A)}$$

$$A_{V2M2} = L_{WV2} - L_{M2W2} = 90 - 60 = 30 \text{ dB(A)}$$

Supondo que os resultados das medições são:

$$L_{M1a} = 60 \text{ dB(A)}$$

$$L_{M2a} = 60 \text{ dB(A)}$$

$$L_{M1d} = 59 \text{ dB(A)}$$

$$L_{M2d} = 56 \text{ dB(A)}$$

resulta:

$$L_{WV1a} = 89 \text{ dB(A)}$$

$$L_{WV2a} = 89 \text{ dB(A)}$$

$$L_{WV1d} = 89 \text{ dB(A)}$$

$$L_{WV2d} = 82 \text{ dB(A)}$$

Ou seja, ainda que se tenha uma diferença mínima de 1 dB e máxima de 4 dB, entre os níveis antes e depois, na realidade a via 1 tem o mesmo nível de potência sonora antes e depois (pavimento não alterado) e a via 2 tem uma diferença de 7 dB entre os níveis de potência sonora antes e depois (implementação de pavimento menos ruidoso), o que significa que o pavimento tem uma eficácia na redução de ruído de 7 dB.

De notar que dada a incerteza das medições, a localização dos pontos de medição tem de ser adequadamente escolhida para que não prevaleça a emissão sonora de uma dada via relativamente à outra, o que conduz à impossibilidade de resolução do sistema de equações, na medida em que existirão infinitas soluções para a potência sonora da Fonte não prevalecente.

**Barreira Acústica (factor de atenuação)**

Considere-se o exemplo da necessidade de determinação da eficácia na redução de ruído de uma Barreira Acústica já implementada, através da efectivação da medição num ponto a 1,5 m acima do topo da Barreira Acústica ( $L_{M1}$ ) e num ponto atrás da Barreira ( $L_{M2}$ ), nas condições referidas na norma [11]. Ao contrário do estabelecido na norma [11], o ponto de medição a 1,5 m acima do topo da Barreira Acústica não serve, neste exemplo, para controlar a emissão sonora da via antes e depois da implementação da Barreira Acústica, mas sim para determinar a sua eficácia através do Método Relacional.

De acordo com a expressão (40), pode-se escrever:

$$A_{M1} = L_W - L_{M1}$$

$$A_{M2} = L_W - L_{M2}$$

Para calcular  $L_W$ , se for possível assumir que o factor de atenuação  $A_{M1}$  é dominado pela Divergência Geométrica ( $A_{div}$ ), e que o factor de atenuação  $A_{M2}$  é dominado pela Divergência Geométrica ( $A_{div}$ ) e pela atenuação da Barreira Acústica ( $A_{bar}$ ), as expressões anteriores, tendo em conta a expressão (41), tomam a forma:

$$10\log(4\pi d_1^2) = L_W - L_{M1}$$

$$10\log(4\pi d_2^2) + A_{bar} = L_W - L_{M2}$$

De onde resulta:

$$A_{bar} = 10\log\left(\frac{d_2^2}{d_1^2}\right) + L_{M1} - L_{M2}$$

Admitindo, como exemplo:

$$d_1 = 5 \text{ m}$$

$$d_2 = 6 \text{ m}$$

$$L_{M1} = 70 \text{ dB (A)}$$

$$L_{M2} = 60 \text{ dB (A)}$$

Resulta:

$$A_{bar} \approx 12 \text{ dB}$$

De notar que tem especial interesse a escolha dos pontos de medição de maneira a que  $d_1 = d_2$ , pois nesse caso:

$$A_{bar} = L_{M1} - L_{M2}$$

Salienta-se que  $L_{M1}$  e  $L_{M2}$  não são níveis sonoros contínuos equivalentes, como acontece nos exemplos dos capítulos anteriores, mas sim níveis máximos, para verificar uma divergência geométrica esférica.

Se não for possível assumir que a divergência geométrica e a atenuação da Barreira Acústica prevalecem, é necessário recorrer a um *software* disponível para calcular os outros factores de atenuação, idealmente através da obtenção de valores máximos à passagem dos veículos.

No *software* é necessário simular os pontos  $L_{M1}$  e  $L_{M2}$ , sem a influência da Barreira Acústica, e obter os resultados associados, por exemplo:

$$L_{M1} = 70 \text{ dB(A)}$$

$$L_{M2} = 60 \text{ dB(A)}$$

Assim pode-se escrever:

$$70 = L_W - A_1$$

$$60 = L_W - A_2$$

e:

$$-A_1 + A_2 = 70 - 60 = 10 \text{ dB} \quad (44)$$

No caso real simulado, pode-se escrever com a influência da Barreira Acústica:

$$L_{M1} = L_W - A_1$$

$$L_{M2} = L_W - A_2 - A_{bar}$$

ou seja:

$$A_{bar} = L_{M1} - L_{M2} - (-A_1 + A_2) = L_{M1} - L_{M2} - 10$$

Pode-se usar a expressão (44) para verificar se é possível simplificar o cálculo usando apenas a Divergência Geométrica:

$$20 \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right) = L_{M1} - L_{M2}$$

### 6.3.3. Vibração Ambiente

No presente desenvolvimento a vibração será caracterizada através da variação segundo a segundo do valor eficaz (RMS) da velocidade da vibração, sendo determinado e usado o valor máximo associado a essa variação.

Neste desenvolvimento será usada a unidade mm/s, em sintonia com os Critérios [20].

Uma vez que os efeitos das vibrações podem ocorrer a 4 níveis:

1. Perturbação humana devida à sensação da vibração como tal;
2. Perturbação humana devida ao ruído estrutural produzido pela vibração;
3. Danos nos edifícios;
4. Interferência com o funcionamento de equipamentos.

E uma vez que de acordo com o estabelecido na norma [58], as frequências típicas de interesse para cada um dos efeitos referidos, são as seguintes:

1. 1Hz a 80 Hz;
2. 16Hz a 250 Hz;
3. 1Hz a 500 Hz;
4. 1Hz a 200 Hz.

A determinação do valor global da vibração associada a determinado evento, deverá ser integrada exclusivamente dentro da gama de frequências de interesse referidas.

O presente desenvolvimento direcciona-se para a perturbação humana devido à sensação da vibração como tal e para a perturbação humana devido ao ruído estrutural produzido pela vibração, pelo que serão analisadas independentemente, para cada evento, as gamas de frequências 1Hz a 80 Hz e 16Hz a 250Hz.

Para determinação dos valores globais ( $v_G$ ) para a gama 1 Hz – 80 Hz e para a gama 16 Hz – 250 Hz, utilizam-se as seguintes equações, onde  $v_f$  corresponde à velocidade de vibração de cada Banda de frequência:

$$v_{G,1-80Hz} = \sqrt{\sum_{f=1}^{80} v_f^2}$$

$$v_{G,16-250Hz} = \sqrt{\sum_{f=16}^{250} v_f^2}$$

### 6.3.3.1. Objectivo do desenvolvimento

Pretende-se aferir a adequabilidade de um método de previsão, assente na utilização de factores de atenuação de vibração de locais, determinados através de medições de vibração *in situ*.

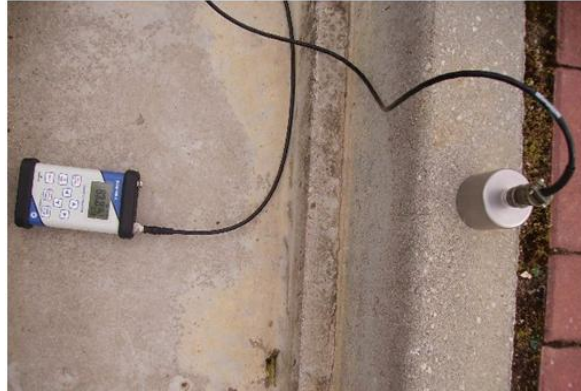
### 6.3.3.2. Método

Para determinação dos factores de atenuação de vibração de locais, o método utiliza:

1. Uma massa, que é impulsionada contra o solo, para gerar um impulso de vibração (Figura 83);
2. 2 Vibrómetros (Figura 84), com capacidade para registo dos valores RMS de segundo a segundo nas Bandas de 1/3 de oitava entre 1 Hz e 250 Hz, e com capacidade para detectar valores suficientemente reduzidos (idealmente menores do que 0,001 mm/s), para registo simultâneo do impulso de vibração em 2 pontos.



**Figura 83: Exemplo do uso de massa para a geração de um impulso de vibração**



**Figura 84: Exemplo de um Vibrómetro constituído por um acelerómetro e por um analisador de sinal**

Aquando do impulso, é medida a variação RMS de segundo a segundo da velocidade de vibração, nas Bandas de 1/3 de oitava entre 1 Hz e 250 Hz ( $v_f$ ), simultaneamente em dois pontos ( $P_1$  e  $P_2$ ) a distância conhecida ( $d_1$  e  $d_2$ ), sendo verificado qual o valor máximo ( $v_{\max,f}$ ) associado ao impulso em cada um desses pontos, para cada uma das Bandas de 1/3 de oitava entre 1 Hz e 250 Hz.

Assumindo a seguinte relação teórica entre as velocidades de vibração em  $P_1$  e  $P_2$  [19,58]:

$$v_{\max,f,P2} = v_{\max,f,P1} \times \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{k_f}$$

Podem-se determinar os Factores de Atenuação  $k_f$ , do local onde se está a efectuar as medições, com base na seguinte equação (a aplicar a cada Banda de frequência):

$$k_f = \frac{\log\left(\frac{v_{\max,f,P2}}{v_{\max,f,P1}}\right)}{\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad (45)$$

O local de impulso deve coincidir ou ser o mais próximo possível do local onde se prevê vir a ser implantada a linha férrea, o  $P_1$  deve coincidir ou ser o mais próximo possível de distâncias de referência onde se possa conhecer a vibração futura, e o  $P_2$  deve coincidir ou ser o mais próximo possível do local onde se pretende prever a vibração.

O ensaio explicitado deverá ser repetido pelo menos 3 vezes e deverão ser utilizados, por segurança, os valores mínimos de  $k_f$  ( $k_{\min,f}$ ).

Como estes valores correspondem a Factores de Atenuação para uma Fonte Pontual, é necessário transformá-los em Factores de Atenuação para Fontes Lineares ( $K_{linear,f}$ ) através da seguinte equação (a aplicar a cada Banda de frequência):

$$K_{linear,f} = \frac{\log \left( \frac{\int_{l=0}^l v_{max,f,P2} \times \left( \frac{d_2 + x}{d_2} \right)^{k_{min,f}} dx}{\int_{l=0}^l v_{max,f,P1} \times \left( \frac{d_1 + x}{d_1} \right)^{k_{min,f}} dx} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)}$$

Recorrendo a uma tabela de integrais [182], verifica-se que, de forma genérica:

$$\int (ax + b)^n dx = \frac{(ax + b)^{n+1}}{(n+1)a} \text{ para } n \neq -1$$

Fazendo uso desta equação genérica e considerando  $l = \infty$ , pode-se demonstrar (ver Apêndice A1.4) o seguinte:

- Se  $k(f)_{Pontual} < -0,5$ :

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 \tag{46}$$

- Se  $k(f)_{Pontual} > -0,5$ :

$$k(f)_{Linear} = 0$$

Será importante existir informação relativamente às características geotécnicas do solo na envolvente do traçado e ao longo do traçado, por forma a poder fazer incidir as medições em zonas com características diferentes e, previsivelmente, factores de atenuação diferentes, ainda que, sem uma informação geotécnica tridimensional, seja muito difícil antever fenómenos de reflexão, refacção e/ou difracção que possam fazer com que ocorram factores de atenuação significativamente diferentes quando se previam factores de atenuação iguais, ou vice versa.

### 6.3.3.3. Ensaios realizados

Os ensaios de aferição da adequabilidade do método foram realizados junto à Linha Férrea do Algarve nos seguintes 2 locais:

1. Local 1: Junto ao Teatro das Figuras em Faro, correspondente a uma zona pavimentada e onde os comboios possuem menor velocidade de circulação dada a proximidade da estação (Figura 85).
2. Local 2: Em meio rural, não pavimentado, onde os comboios possuem maior velocidade de circulação (Figura 86).

As medições tiveram assim dois tipos de origem de vibração:

1. Origem em impulso induzido: 1 massa de 13 kg (Figura 83);
2. Origem própria do local: diferentes comboios que circulam na linha.

Foram os seguintes os equipamentos utilizados:

1. 1 Vibrómetro constituído por um acelerómetro IMI 626A04 e por um analisador de sinal Svantek 958;
2. 1 Vibrómetro constituído por um acelerómetro PCB 393B31 e por um analisador de sinal Svantek 946A.



**Figura 85: Ilustração fotográfica do Local 1 de medição de vibração**



Figura 86: Ilustração fotográfica do Local 2 de medição de vibração

### 6.3.3.4. Impulso induzido

Apresentam-se no Quadro 49 os resultados obtidos para o factor de atenuação  $k_{min}$ . Salienta-se que a massa e distâncias utilizadas só permitem distinguir a ocorrência do impulso nos Vibrómetros para as Bandas de frequência maiores ou iguais a 8 Hz. Considera-se contudo que tal limitação não constitui problema para a gama de frequências normais associada à passagem de comboios, como se verá no capítulo seguinte.

Quadro 49: Velocidades de vibração e Factores de Atenuação obtidos *in situ* através de impulso

Banda de frequência [Hz]	$v_{max,f}$ [mm/s]				$k_{min,f}$	
	Local 1		Local 2		Local 1	Local 2
	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$		
8	0,0005	0,0004	0,00030	0,00019	-0,16	-0,19
10	0,0007	0,0005	0,00053	0,00036	-0,34	-0,17
12,5	0,0008	0,0005	0,00106	0,00037	-0,38	-0,46
16	0,0014	0,0006	0,00140	0,00033	-0,67	-0,64
20	0,0032	0,0009	0,00189	0,00026	-1,01	-0,87
25	0,0061	0,0020	0,00285	0,00022	-0,89	-1,12
31,5	0,0125	0,0033	0,00420	0,00037	-1,09	-1,06
40	0,0251	0,0035	0,00824	0,00039	-1,60	-1,32
50	0,0253	0,0038	0,01238	0,00029	-1,55	-1,63
63	0,0054	0,0010	0,01688	0,00034	-1,40	-1,70
80	0,0075	0,0005	0,03302	0,00024	-2,22	-2,15
100	0,0083	0,0005	0,03772	0,00015	-2,33	-2,40
125	0,0048	0,0003	0,01096	0,00012	-2,27	-1,97
160	0,0047	0,0001	0,00614	0,00012	-3,57	-1,72
200	0,0015	0,00002	0,00302	0,00006	-3,34	-1,72
250	0,0005	0,00002	0,00093	0,00003	-2,61	-1,47
<b>8-80Hz</b>	<b>0,0395</b>	<b>0,0067</b>	<b>0,0404</b>	<b>0,0010</b>	<b>-1,45</b>	<b>-1,59</b>
<b>16-250Hz</b>	<b>0,0409</b>	<b>0,0067</b>	<b>0,0567</b>	<b>0,0009</b>	<b>-1,48</b>	<b>-1,80</b>

### 6.3.3.5. Comboios

Apresentam-se no Quadro 50 e no Quadro 51 os valores Medidos em  $P_1$  à passagem de comboios, os valores previstos em  $P_2$ , com base nos factores de atenuação determinados pelo método em análise e apresentados no Quadro 49 (corrigidos para factores de atenuação lineares), e os valores efectivamente medidos em  $P_2$  à passagem de comboios, para o Local 1 e para o Local 2.

A análise do Quadro 50 e Quadro 51 permite verificar que, genericamente, as previsões dão resultados superiores às medições o que nos coloca numa posição de segurança.

Nos gráficos da Figura 87 e da Figura 88 são apresentados os Espectros da velocidade de vibração em  $P_1$ , à passagem dos comboios, sendo visível a irrelevância dos valores associados a Bandas de frequência inferiores a 8 Hz.

**Quadro 50: Comparação das medições e das previsões de vibração no Local 1**

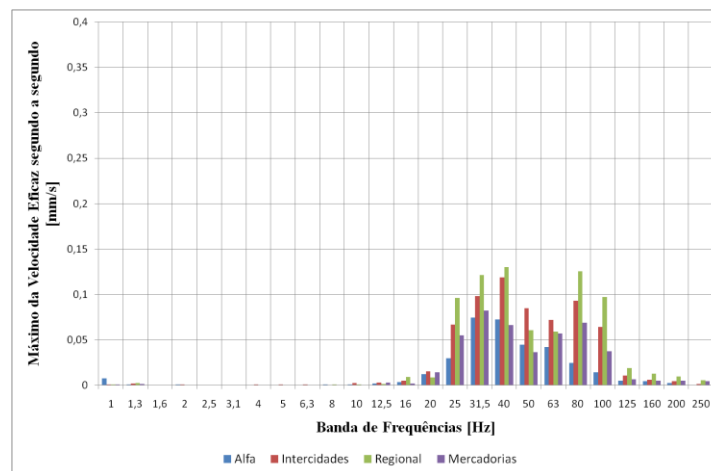
Banda de frequência [Hz]	Valor máximo medido em $P_1$ [mm/s]				Valor máximo previsto em $P_2$ [mm/s]				Valor máximo medido em $P_2$ [mm/s]			
	Tipo de Comboio											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,0077	0,0009	0,0011	0,0012	-	-	-	-	0,0019	0,0037	0,0017	0,0009
1,3	0,0008	0,002	0,0025	0,0013	-	-	-	-	0,0009	0,0016	0,0015	0,002
1,6	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	-	-	-	-	0,0008	0,0013	0,0006	0,0005
2	0,001	0,001	0,0004	0,0004	-	-	-	-	0,0008	0,0023	0,0004	0,0006
2,5	0,0007	0,0004	0,0007	0,0004	-	-	-	-	0,0004	0,0023	0,0004	0,0004
3,1	0,0003	0,0006	0,0005	0,0003	-	-	-	-	0,0003	0,0014	0,0004	0,0004
4	0,0006	0,0008	0,0002	0,0001	-	-	-	-	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005
5	0,0005	0,001	0,0005	0,0002	-	-	-	-	0,0007	0,0011	0,0002	0,0012
6,3	0,0006	0,0011	0,0006	0,0004	-	-	-	-	0,0004	0,0005	0,0004	0,0022
8	0,0008	0,0007	0,0008	0,0003	0,0011	0,0006	0,0007	0,0003	0,0006	0,001	0,0002	0,0016
10	0,0012	0,0024	0,0010	0,0005	0,0014	0,0028	0,0012	0,0006	0,0006	0,0021	0,0007	0,0009
12,5	0,0018	0,0030	0,0013	0,0028	0,0020	0,0034	0,0015	0,0031	0,0009	0,0041	0,0044	0,0036
16	0,0035	0,0050	0,0093	0,0019	0,0030	0,0042	0,0079	0,0016	0,0015	0,0070	0,0029	0,0067
20	0,0123	0,0154	0,0089	0,0144	0,0075	0,0094	0,0054	0,0087	0,0062	0,0069	0,0098	0,0154
25	0,0298	0,0668	0,0961	0,0552	0,0203	0,0456	0,0656	0,0377	0,0139	0,0216	0,0265	0,0319
31,5	0,0748	0,0985	0,1213	0,0825	0,0420	0,0553	0,0681	0,0463	0,0239	0,0531	0,0362	0,0334
40	0,0724	0,1190	0,1301	0,0666	0,0247	0,0406	0,0444	0,0227	0,0133	0,0257	0,0275	0,0073
50	0,0446	0,0847	0,0608	0,0365	0,0160	0,0303	0,0218	0,0131	0,0187	0,0104	0,0256	0,0050
63	0,0419	0,0720	0,0591	0,0571	0,0174	0,0298	0,0245	0,0237	0,0094	0,0037	0,0104	0,0013
80	0,0247	0,0931	0,1255	0,0688	0,0046	0,0173	0,0233	0,0128	0,0017	0,0021	0,0059	0,0013
100	0,0145	0,0641	0,0971	0,0377	0,0024	0,0107	0,0162	0,0063	0,0013	0,0019	0,0040	0,0008
125	0,0050	0,0108	0,0192	0,0068	0,0009	0,0019	0,0034	0,0012	0,0006	0,0012	0,0012	0,0002
160	0,0048	0,0059	0,0126	0,0051	0,0002	0,0003	0,0006	0,0003	0,0005	0,0010	0,0005	0,0001
200	0,0025	0,0047	0,0095	0,0052	0,0002	0,0003	0,0006	0,0003	0,0002	0,0007	0,0002	0,0001
250	0,0007	0,0015	0,0054	0,0048	0,0001	0,0002	0,0007	0,0006	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001
$v_{G,1-80Hz}$	0,1277	0,2228	0,2530	0,1544	0,0586	0,0950	0,1124	0,0712	0,0378	0,0650	0,0608	0,0503
$v_{G,16-250Hz}$	0,1235	0,2322	0,2721	0,1593	0,0586	0,0955	0,1136	0,0714	0,0378	0,0646	0,0607	0,0500

Tipo de Comboio: 1: Alfa; 2: Intercidades; 3: Regional; 4: Mercadorias.

**Quadro 51: Comparação das medições e das previsões de vibração no Local 2**

Banda de frequência [Hz]	Valor máximo medido em $P_1$ [mm/s]				Valor máximo previsto em $P_2$ [mm/s]				Valor máximo medido em $P_2$ [mm/s]			
	Tipo de Comboio											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,0132	0,0007	0,0002	0,0012	-	-	-	-	0,0009	0,0009	0,0014	0,0011
1,3	0,0015	0,0015	0,0002	0,0016	-	-	-	-	0,0015	0,0016	0,0008	0,0009
1,6	0,0028	0,0003	0,0069	0,0003	-	-	-	-	0,0011	0,0005	0,0005	0,0020
2	0,0018	0,0007	0,0062	0,0008	-	-	-	-	0,0004	0,0007	0,0004	0,0005
2,5	0,0011	0,0001	0,0017	0,0015	-	-	-	-	0,0008	0,0007	0,0004	0,0004
3,1	0,0012	0,0012	0,0095	0,0011	-	-	-	-	0,0005	0,0007	0,0003	0,0008
4	0,0035	0,0011	0,0028	0,0013	-	-	-	-	0,0011	0,0017	0,0003	0,0004
5	0,0088	0,0018	0,0034	0,0017	-	-	-	-	0,0017	0,0014	0,0006	0,0020
6,3	0,0109	0,0152	0,0041	0,0090	-	-	-	-	0,0072	0,0040	0,0030	0,0069
8	0,0060	0,0134	0,0058	0,0156	0,0102	0,0227	0,0098	0,0264	0,0016	0,0156	0,0057	0,0060
10	0,0197	0,0132	0,0097	0,0167	0,0345	0,0231	0,0170	0,0293	0,0053	0,0154	0,0042	0,0136
12,5	0,0140	0,0257	0,0155	0,0130	0,0150	0,0275	0,0166	0,0139	0,0041	0,0074	0,0045	0,0207
16	0,0206	0,0094	0,0061	0,0087	0,0162	0,0074	0,0048	0,0069	0,0104	0,0065	0,0022	0,0092
20	0,0134	0,0176	0,0099	0,0172	0,0071	0,0094	0,0053	0,0092	0,0042	0,0111	0,0083	0,0063
25	0,0265	0,0257	0,0206	0,0237	0,0092	0,0090	0,0072	0,0083	0,0088	0,0112	0,0049	0,0080
31,5	0,0374	0,0319	0,0233	0,0379	0,0144	0,0123	0,0090	0,0146	0,0120	0,0160	0,0116	0,0097
40	0,0557	0,0625	0,0398	0,0525	0,0138	0,0155	0,0099	0,0130	0,0199	0,0251	0,0138	0,0287
50	0,0573	0,2177	0,0866	0,0888	0,0084	0,0318	0,0127	0,0130	0,0112	0,0208	0,0088	0,0180
63	0,1129	0,2226	0,0781	0,1650	0,0147	0,0289	0,0101	0,0214	0,0098	0,0092	0,0042	0,0138
80	0,3004	0,2208	0,1733	0,1492	0,0181	0,0133	0,0105	0,0090	0,0039	0,0047	0,0020	0,0034
100	0,3772	0,1555	0,1402	0,0656	0,0149	0,0061	0,0055	0,0026	0,0037	0,0047	0,0014	0,0017
125	0,0795	0,0495	0,0281	0,0264	0,0065	0,0041	0,0023	0,0022	0,0017	0,0025	0,0010	0,0017
160	0,0236	0,0410	0,0268	0,0140	0,0030	0,0051	0,0034	0,0018	0,0016	0,0034	0,0008	0,0011
200	0,0084	0,0296	0,0155	0,0071	0,0011	0,0037	0,0019	0,0009	0,0023	0,0016	0,0007	0,0011
250	0,0030	0,0171	0,0106	0,0048	0,0006	0,0033	0,0020	0,0009	0,0019	0,0008	0,0005	0,0008
$V_{G,1-80Hz}$	<b>0,3363</b>	<b>0,3911</b>	<b>0,2166</b>	<b>0,2516</b>	<b>0,0541</b>	<b>0,0667</b>	<b>0,0363</b>	<b>0,0551</b>	<b>0,0330</b>	<b>0,0477</b>	<b>0,0246</b>	<b>0,0484</b>
$V_{G,16-250Hz}$	<b>0,5112</b>	<b>0,4256</b>	<b>0,2605</b>	<b>0,2603</b>	<b>0,0410</b>	<b>0,0524</b>	<b>0,0267</b>	<b>0,0362</b>	<b>0,0317</b>	<b>0,0419</b>	<b>0,0229</b>	<b>0,0405</b>

Tipo de Comboio: 1: Alfa Pendular; 2: Intercidades; 3: Regional; 4: Mercadorias.

**Figura 87: Espectro da velocidade de vibração dos comboios em  $P_1$  (Local 1)**

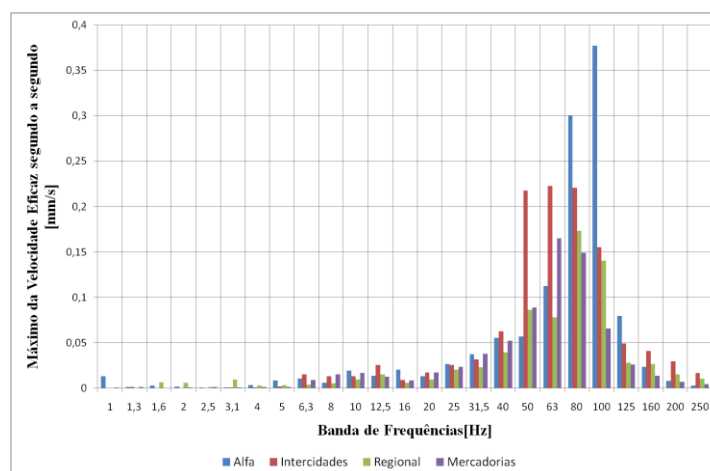


Figura 88: Espectro da velocidade de vibração dos comboios em  $P_1$  (Local 2)

### 6.3.3.6. Desvios entre as previsões e as medições

No Quadro 52 são apresentados os desvios entre as previsões e as medições.

Quadro 52: Desvios entre as previsões e as medições de vibração para os valores globais

Local	$(v_{Gprevisto} - v_{Gmedido})/v_{Gmedido}$							
	Alfa Pendular		Intercidades		Regional		Mercadorias	
	1-80Hz	16-250Hz	1-80Hz	16-250Hz	1-80Hz	16-250Hz	1-80Hz	16-250Hz
1	55%	55%	46%	48%	85%	87%	42%	43%
2	64%	29%	40%	25%	48%	17%	14%	-11%

Os desvios em termos de valores globais variam entre -11% e 87%. Estes desvios podem parecer elevados, mas são da ordem de grandeza dos desvios encontrados quando se usam os factores de atenuação associados à passagem de comboios – sem correcção de Fonte Linear – para prever as vibrações associadas a outros comboios, o que demonstra a viabilidade do método e a dificuldade de obtenção de métodos mais precisos, em grande medida por se estar a trabalhar com valores máximos e não com valores médios.

## 7. Conclusões

Perante tudo o que foi apresentado verifica-se que foram efectuados diversos desenvolvimentos relevantes em termos de análise, exposição, demonstração, sugestão, automatização e inovação sobre métodos de previsão, medição, limitação e avaliação em Ruído e Vibração Ambiente, conforme era objectivo da Tese. Estes desenvolvimentos conduziram às seguintes conclusões principais que se resumem e evidenciam:

- 1 A análise aprofundada efectuada permitiu verificar que o sistema de previsão, medição, limitação e avaliação em Ruído e Vibração Ambiente existente em Portugal, possui erros, inconsistências e indefinições que não são totalmente evidentes, pelo que necessitam ser bem entendidos e conhecidos para que possam ser devidamente corrigidos. Considera-se que as análises, e as sugestões concretas, desenvolvidas e explicitadas no presente trabalho, incluindo sugestões de alteração da legislação [10,18], poderão constituir um contributo relevante para o melhor entendimento das imperfeições do sistema e para a sua boa correcção. De destacar as seguintes imperfeições detectadas e as seguintes sugestões apresentadas:
  - A norma [4] possui apenas um Espectro de emissão sonora, o qual se demonstrou no presente trabalho ser majorativo. Uma vez que pequenas variações do Espectro de emissão sonora podem ter significativa influência nas dimensões das Barreiras Acústicas, conforme demonstrado na Tese, tem-se que a utilização sistemática do Espectro majorativo da norma [4] conduz potencialmente a Barreiras Acústicas sobredimensionadas, pelo que será necessário utilizar de futuro Espectros de emissão sonora mais próximos da realidade, sobretudo em Projectos de Medidas (Planos de Acção).
  - Uma Barreira Acústica pode ter mais do que uma eficácia ao longo do dia, devido à normal variação do gradiente vertical da velocidade do som ao longo do dia, o que aparentemente não é tido em conta na norma [11], pelo que a mesma deverá ser corrigida no sentido de efectuar recomendações para obtenção da eficácia representativa da situação que se pretende caracterizar, e não qualquer eficácia, como ocorre actualmente.
  - O método de caracterização do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão constante nas normas [25,26] inclui o Ruído Estrutural produzido pela Máquina de Percussão no

compartimento Emissor, o que se considera não corresponder à metodologia mais adequada, pelo menos em algumas situações exemplificadas, pois devia considerar apenas o Ruído Aéreo radiado directamente pela Máquina. Sugere-se na Tese uma metodologia de caracterização mais aproximada desse Ruído Aéreo, com maior potencial de aplicação a situações em que é diminuto o Isolamento a Sons Aéreos entre os espaços.

- Não são coincidentes as definições de Ruído Ambiente da legislação [10] e da legislação [12], nem são inequívocos os conceitos de Som Incidente e de Ponto de Avaliação, conduzindo inclusive a diferentes perspectivas e pontos de medição e de previsão, e podendo resultar, para a mesma situação, em cumprimento ou incumprimento dos requisitos legais, dependendo da definição e da interpretação seguidas. Sugere-se que a definição de Ruído Ambiente da legislação [10] passe a ser semelhante à da legislação [12], e que se defina mais objectivamente, como é concretizado na Tese, Som Incidente e Ponto de Avaliação.

2 De acordo com o trabalho desenvolvido existem alguns métodos particulares de avaliação e limitação de Ruído Ambiente, julgados relevantes, em falta no sistema Português, e que já existem em outros países [13,145], e que é preciso, assim se julga, passarem a existir em Portugal. Destacam-se, por isso, os seguintes desenvolvimentos associados efectuados no presente trabalho, que poderão assim constituir igualmente um contributo relevante para a melhor criação possível deste tipo de métodos em Portugal, resumindo-se em seguida as respectivas conclusões principais:

- Ruído de Baixa Frequência: os desenvolvimentos efectuados no presente trabalho permitiram criar uma lista de tipos de Fontes de ruído, com potencial de afectação devido ao Ruído de Baixa Frequência, e revelaram ser necessário utilizar “novos” Espectros teóricos de recurso para as previsões de ruído associado a essas Fontes, Espectros esses que se definiram e enquadraram, e que se propõe denominar por Ruído Castanho (A), Ruído Rosa (A), e Ruído Branco (A).
- Ruído de juntas de dilatação: os desenvolvimentos efectuados permitiram verificar que pode ser mais adequado medir e avaliar os níveis sonoros do ruído da passagem de veículos rodoviários sobre juntas de dilatação em malha C, dada a maior magnitude de emergência dos respectivos níveis sonoros. Em termos de previsão, ainda que sejam

necessárias mais medições de validação e mais informação sobre os diferentes tipos de juntas de dilatação existentes em Portugal, encontraram-se já algumas relações relevantes, para a variação dos níveis sonoros em função da velocidade e em função da massa dos veículos, que podem ser um bom guia para possíveis desenvolvimentos futuros.

3 Considera-se ser de dar particular destaque às conclusões do método desenvolvido para a quantificação, em ruído e vibração, da análise comparativa de Alternativas nas Avaliações de Impacte Ambiental, por não se conhecer desenvolvimento nacional ou internacional semelhante:

- É necessário definir métodos objectivos normalizados para a análise comparativa de Alternativas, caso contrário podem ser definidos métodos distintos que produzam, para as mesmas Alternativas, conclusões diferentes relativamente a qual a Alternativa que deve ser seleccionada, em termos de ruído e/ou de vibração. O número de parâmetros objectivos a utilizar para definir o aqui denominado Factor de Comparação, não pode ser muito elevado, caso contrário vão ser em elevado número os casos que vão suscitar dificuldade de comparação e será muito difícil encontrar uma adequada função de relação entre todos os parâmetros para definir o Factor de Comparação. O método desenvolvido define um Factor de Comparação que possui uma relação matemática baseada em 3 parâmetros objectivos, no caso do ruído, e em 2 parâmetros objectivos no caso da vibração.

4 É importante desenvolver métodos simples e expeditos de previsão de ruído e vibração, que incentivem e permitam uma utilização generalizada e facilitada, por diferentes intervenientes, em fases tão antecipadas quanto possível, para se conhecer o mais cedo possível, ainda que de forma aproximada e desejavelmente conservativa, qual a área que é necessário cartografar, para ser utilizada nas futuras previsões de ruído e/ou de vibração mais pormenorizadas, e/ou quais as áreas em que à partida é possível localizar as Fontes do projecto, pelo que assumem especial relevância os seguintes 3 métodos originais desenvolvidos no presente trabalho e as respectivas conclusões principais:

- Método de determinação das Áreas de Permissão Acústica de localização de Fontes Pontuais: É possível utilizar um *software* normal de previsão de ruído, e de criação de Mapas de Ruído, para efectuar o papel “inverso”, ou seja, efectuar o mapeamento da

área onde podem ser localizadas as Fontes de ruído, através da consideração do denominado Princípio da Reciprocidade, conforme desenvolvido e exemplificado no presente trabalho.

- Método de previsão expedita para Ruído Ambiente Exterior: O método de previsão expedita desenvolvido, e que corresponde a um trabalho de simplificação selectiva e equilibrada dos métodos provisórios em vigor [12], resultou num conjunto de gráficos de referência e de fórmulas simples que podem ser usadas “manualmente” para determinação da denominada Área de Influência Acústica dos Projectos, conforme se exemplifica no trabalho, estando essa determinação ainda mais facilitada dado que foi desenvolvida uma aplicação informática de acesso livre.
- Método de previsão expedita para Vibração Ambiente: O método expedito desenvolvido para a previsão de vibração, direccionado para Ferrovias, é igualmente simples, permitindo assim uma utilização também facilitada e generalizada, como se pretende.

5 Apesar da nova metodologia [6] de caracterização pormenorizada das características tonais recorrer à análise FFT, enquanto estiver em vigor a metodologia legal [10] que recorre à análise por bandas de 1/3 de oitava, e enquanto forem usados métodos de previsão por banda de 1/1 de oitava, será importante poder recorrer a metodologias alternativas de previsão das características tonais, como é o caso da metodologia desenvolvida no presente trabalho e que pode ser aplicada facilmente a qualquer *software* normal de previsão de ruído que use os métodos provisórios legais [12].

6 Ainda que os Projectos de condicionamento acústico de espaços fechados devam basear-se não só no parâmetro Tempo de Reverberação, conforme é inclusive referido na legislação em vigor [18], no que concerne a Auditórios e Salas, é muito importante tornar o mais evidente possível para todos os que possam ter de efectuar Projectos de condicionamento acústico, por exemplo de salas de aula, normalmente Engenheiros de diferentes áreas, que os valores do Tempo de Reverberação previstos pela fórmula de Sabine, quando a Absorção Sonora não é regular, conduzem a valores subvalorizados, devendo assim ser utilizados métodos de previsão mais adequados, nomeadamente o método estabelecido no Anexo D na norma [14], o qual, a partir do desenvolvimento da presente Tese, pode ser também usado de forma mais generalizada e facilitada dada a aplicação informática de acesso livre criada, ainda que apenas aplicável a

espaços vazios (situação normalmente mais desfavorável).

7 Foram desenvolvidos métodos inovadores em termos de medição e em termos de previsão relacionando medições, de onde se destacam os seguintes métodos:

- Método sonoro de contagem de tráfego e de determinação da velocidade de veículos: Este método permite adaptar dois Sonómetros para efectivação de contagens de tráfego e para determinação da velocidade veículos, distinguindo o tipo de veículo, o que possui grande relevância e aplicabilidade para a obtenção de dados de base mais rigorosos para a modelação acústica de exteriores.
- Método de monitorização de Ferrovias: Este método procura evidenciar que, deste que devidamente justificado, pode não ser necessário medir obrigatoriamente os 20 comboios referido na norma [6], e que ainda que não esteja estabelecido na norma, deverão ser não só caracterizadas as categorias com influência no ruído global mas também as categorias com influência na incerteza global, e que poderão não ser as mesmas, conforme demonstrado no método desenvolvido.
- Método relacional: Este método tem inúmeras aplicabilidades, podendo ser sempre usado desde que seja possível escrever um sistema de equações possível e determinado relacionando as variáveis que se pretendem obter e as variáveis que se podem medir ou obter de alguma forma.
- Método de previsão da vibração usando medições: Este método tem grande relevância, pois não existe actualmente método normalizado de previsão da vibração devido a Ferrovias em Portugal. O método demonstra a possibilidade do uso de uma fonte de impulso pontual para a determinação dos Factores de Atenuação de vibração, para Fonte Pontual, dos locais, e deduz a forma de conversão desse Factor para um Factor de Atenuação para fonte linear, a ser usado na previsão da vibração para Ferrovias.

8 A Acústica tem vindo a sofrer significativos desenvolvimentos de previsão, medição, limitação e avaliação a nível nacional e internacional, o que faz com que a informação técnica disponível seja em elevada quantidade e muito dispersa, razão pela qual se considera também importante o acervo bibliográfico efectuado, associado ao desenvolvimento da Tese e disponibilizado no *site* [e1].

### **Possibilidades de evolução**

A relevância do trabalho efectuado encontra-se não só no que foi concretizado mas também no potencial criado em termos de desenvolvimentos que podem vir a ser efectuados no futuro, tendo por base os actuais desenvolvimentos, designadamente:

- 1 Obtenção de dados de base de modelação mais verdadeiros, em termos de situações típicas em Portugal, por exemplo a nível de Espectros de emissão sonora típicos, Velocidades Contínuas Equivalentes típicas, temperatura média dos pavimentos, Probabilidades de ocorrência de Condições favoráveis de propagação sonora para alguns locais típicos, etc.
- 2 Automatização e aferição dos critérios de quantificação da qualificação e análise comparativa de impactes definidos.
- 3 Consolidação e extensão do método de previsão expedita a Aeroportos, em termos de ruído, e a outras infra-estruturas que não Ferrovias, em termos de vibração.
- 4 Automatização e consolidação do método de aferição dos valores máximos à passagem de veículos e do método sonoro de contagem de tráfego e de determinação de velocidade de veículos.
- 5 Aprofundamento das particularidade do ruído da passagem de veículos sobre juntas de dilatação e criação de modelo de previsão associado e de critério de limitação específico direccionado.
- 6 Desenvolvimento de sistema de monitorização contínua de Classe 2, economicamente vantajoso e tecnicamente rigoroso que facilite a concretização de monitorizações *in situ* mais abrangentes.
- 7 Automatização e aplicação do Método Relacional e sua extensão a Ruído Ambiente Interior.
- 8 Obtenção de dados de base de vibração para o material circulante nas vias-férreas Portuguesas e consolidação do método de previsão de vibração relacionando medições desenvolvido.

---

## APÊNDICES

A1. Demonstrações .....	279
A1.1. Relação entre $L_{eq}$ , $L_E$ , $L_{Max}$ , $L_w$ e $L_{w/m}$ para uma Fonte Pontual em movimento .....	280
A1.2. Relação entre $L_{eq}$ , $L_E$ , $L_{Max}$ , $L_w$ e $L_{w/m}$ para uma Fonte Linear em movimento .....	284
A1.3. Propagação de incerteza no cálculo de $L_{eq,Global}$ .....	288
A1.4. Relação entre factor de atenuação pontual e linear para vibração ambiente .....	290
A2. Espectros teóricos de recurso .....	293
A3. Comparação de mapas de ruído em diferentes condições meteorológicas .....	295
A4. Listagem dos equipamentos, acessórios e Softwares utilizados no presente trabalho .....	304
A5. Símbolos .....	306
A6. Siglas .....	314
A7. Índice de Quadros .....	317
A8. Índice de Figuras .....	319

---

## **A1. DEMONSTRAÇÕES**

## A1.1.RELAÇÃO ENTRE $L_{EQ}$ , $L_E$ , $L_{MAX}$ , $L_W$ E $L_{W/M}$ PARA UMA FONTE PONTUAL EM MOVIMENTO

De acordo com [28], pode-se escrever para uma Fonte Pontual omnidireccional em campo livre:

$$L_\theta \approx L_W + D_\theta - 11 - 20\log(r) \text{ [dB]}$$

Admitindo que a Fonte Pontual se desloca numa via recta infinita, com uma velocidade  $v$ , então a variação, ao longo do tempo  $t$ , dos níveis sonoros a uma distância perpendicular  $d$  da via recta infinita, é dada por:

$$L_\theta(t) \approx L_W + D_\theta - 11 - 20\log(\sqrt{d^2 + v^2t^2}) \text{ [dB]}$$

O valor máximo  $L_{Max}$  desta expressão ocorre para  $t = 0$  [instante em que a Fonte passa em frente (ponto da distância perpendicular) do ponto de medição] e é dado por:

$$L_{Max} \approx L_W + D_\theta - 11 - 20\log(d) \text{ [dB]} \quad (47)$$

Pode-se assim escrever  $L_\theta(t)$  em função de  $L_{Max}$  da seguinte forma:

$$L_\theta(t) \approx L_{Max} + 20\log(d) - 20\log(\sqrt{d^2 + v^2t^2}) \text{ [dB]} \quad (48)$$

Pela definição de Nível de Exposição tem-se:

$$L_{ET} = 10\log\left(\int_{-T/2}^{T/2} 10^{\frac{L_\theta(t)}{10}} dt\right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{ET} = 10\log\left(\int_{-T/2}^{T/2} \left[10^{\frac{L_{Max} + 20\log(d) - 20\log(\sqrt{d^2 + v^2t^2})}{10}}\right] dt\right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{ET} = 10\log\left(\int_{-T/2}^{T/2} \left[10^{\frac{L_{Max}}{10}} \cdot 10^{\frac{20\log(d)}{10}} \cdot 10^{\frac{-20\log(\sqrt{d^2 + v^2t^2})}{10}}\right] dt\right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{ET} = L_{Max} + 20\log(d) + 10\log\left(\int_{-T/2}^{T/2} (d^2 + v^2t^2)^{-1} dt\right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{ET} = L_{Max} + 20\log(d) + 10\log\left(\int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{d^2 + v^2t^2} dt\right) \text{ [dB]}$$

Utilizando uma tabela de integrais [182], verifica-se o seguinte:

$$\int \frac{1}{a^2+x^2} dx = \frac{1}{a} \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{x}{a} \right)$$

Adicionando e subtraindo  $10\log(v^2)$  resulta:

$$L_{ET} = L_{Max} + 20 \log(d) - 10\log(v^2) + 10\log \left( \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{\frac{d^2}{v^2} + t^2} dt \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} = L_{Max} + 20 \log(d) - 10\log(v^2) + 10\log \left( \left[ \frac{v}{d} \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vt}{d} \right) \right]_{-T/2}^{T/2} \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} = L_{Max} + 10 \log \left( \frac{d^2 v}{v^2 d} \right) + 10\log \left( \left[ \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vt}{d} \right) \right]_{-T/2}^{T/2} \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} = L_{Max} + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) + 10\log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vT}{2d} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( -\frac{vT}{2d} \right) \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} = L_{Max} + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) + 10\log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vT}{2d} \right) + \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vT}{2d} \right) \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} = L_{Max} + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) + 10\log \left( 2\operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vT}{2d} \right) \right) [\text{dB}]$$

$$L_{ET} \approx L_{Max} + 3 + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) + 10\log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{vT}{2d} \right) \right) [\text{dB}] \quad (49)$$

Fazendo  $T$  tender para infinito tem-se:

$$L_E \approx L_{Max} + 3 + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) + 10\log \left( \frac{\pi}{2} \right) [\text{dB}]$$

Ou seja:

$$L_E \approx L_{Max} + 5 + 10 \log \left( \frac{d}{v} \right) [\text{dB}] \quad (50)$$

Como se queria demonstrar.

Relativamente a  $L_{eqT}$ , escrevendo a expressão anterior em função de  $V$  (km/h) em vez de em função de  $v$  (m/s), e adicionando  $-10\log(T)$ , para obtenção de  $L_{eqT}$ , vem:

$$L_{eqT} \approx L_{Max} - 10 \log(T) + 5 + 10 \log(d) - 10 \log \left( \frac{V1000}{3600} \right) [\text{dB}]$$

Para o caso especial do  $L_{eq}$  de 1h (3600s) vem:

$$L_{eqT} \approx L_{Max} - 10 \log(3600) + 5 + 10 \log(d) - 10 \log \left( \frac{V1000}{3600} \right) [\text{dB}]$$

Ou seja:

$$L_{eq}(1h) \approx L_{Max} - 25 + 10 \log(d) - 10 \log(V) [\text{dB}]$$

Recorrendo à expressão (47) pode-se escrever:

$$L_{eq}(1h) \approx L_W + D - 11 - 20\log(d) - 25 + 10 \log(d) - 10\log(V) [\text{dB}]$$

Ou seja:

$$L_{eq}(1h) \approx L_W + D - 36 - 10 \log(d) - 10 \log(V) \text{ [dB]}$$

Para o caso especial de uma distância horizontal de 30 m e uma distância vertical de 10 m (valores de referência usados na base de dados da NMPB'96), tem-se:

$$L_{eq}(1h, 32m) \approx L_W + D - 36 - 15 - 10 \log(V) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{eq}(1h, 32m) \approx L_W + D - 51 - 10 \log(V) \text{ [dB]}$$

Comparando esta expressão com a constante no final do capítulo 3.1.1 da referência [2], verifica-se que são iguais, fazendo  $D = 1$  dB, o que se justifique dado as medições da base de dados da norma [4] terem sido realizadas sobre um solo reflector.

De notar que alguns softwares permitem alterar o valor de  $L_{Aw/m}$ , a qual vem dada por (onde  $d$  é a distância onde se obteve o  $L_{eq}$ ):

$$L_{w/m} = L_{eq}(1h) + 10 \log(d) + 5 \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_{w/m} = L_{eq}(1h, 32m) + 20 \text{ [dB]}$$

Daqui também se demonstra que o valor mínimo de  $T$  que faz a expressão (49) ser aproximadamente igual (diferença de 0,4) à expressão (50), pode ser calculado da seguinte forma:

$$L_{Max} + 5 + 10 \log\left(\frac{d}{v}\right) - \left[ L_{Max} + 3 + 10 \log\left(\frac{d}{v}\right) + 10 \log\left(\text{tg}^{-1}\left(\frac{vT}{2d}\right)\right) \right] \leq 0,4$$

Ou seja:

$$5 - 3 - 10 \log\left(\text{tg}^{-1}\left(\frac{vT}{2d}\right)\right) \leq 0,4$$

Ou seja:

$$\log\left(\text{tg}^{-1}\left(\frac{vT}{2d}\right)\right) \geq \frac{-1,6}{-10}$$

Ou seja:

$$\text{tg}^{-1}\left(\frac{vT}{2d}\right) \geq 10^{0,16}$$

Ou seja:

$$\frac{vT}{2d} \geq \text{tg}(10^{0,16})$$

Ou seja:

$$\frac{T}{2} \geq 8 \frac{d}{v}$$

Logo o tempo de passagem da medição/cálculo deverá começar no máximo em  $-8d/v$  e acabar no

mínimo em  $8d/v$ .

Calcule-se agora qual o valor teórico dos níveis sonoros nesses instantes relativamente ao valor máximo.

De acordo com a expressão (48) tem-se:

$$L_I(t) \approx L_{Max} + 20 \log(d) - 20 \log \left( \sqrt{d^2 + v^2 \left( \frac{8d}{v} \right)^2} \right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_I(t) \approx L_{Max} + 20 \log(d) - 20 \log(\sqrt{65}d) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 18 \text{ [dB]}$$

Utilizando como aproximação 1, em vez de 0,4, resulta:

$$\frac{T}{2} \geq 3 \frac{d}{v}$$

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 10 \text{ [dB]}$$

Portanto para uma precisão da ordem de  $\pm 1$  dB, deve-se medir/calcular o  $L_E$  desde 10 dB abaixo (antes) do valor máximo até 10 dB abaixo (depois) do valor máximo.

## A1.2.RELAÇÃO ENTRE $L_{EQ}$ , $L_E$ , $L_{MAX}$ , $L_W$ E $L_{W/M}$ PARA UMA FONTE LINEAR EM MOVIMENTO

Para o caso de uma Fonte com comprimento  $l$ , em vez de uma Fonte Pontual (aplicação a veículos maiores do que metade da distância perpendicular da medição à via, nomeadamente comboios), pode-se escrever:

$$L_I(t) \approx 10 \log \left( \int_{-l/2}^{l/2} 10^{\frac{L_W - 11 - 20 \log(\sqrt{d^2 + (vt+x)^2})}{10}} dx \right) \text{ [dB]}$$

$$L_I(t) \approx L_W - 11 + 10 \log \left( \int_{-l/2}^{l/2} (d^2 + (vt+x)^2)^{-1} dx \right) \text{ [dB]}$$

$$L_I(t) \approx L_W - 11 + 10 \log \left( \int_{-l/2}^{l/2} \frac{1}{d^2 + v^2 t^2 + 2vtx + x^2} dx \right) \text{ [dB]}$$

Recorrendo a uma tabela de integrais [182], verifica-se o seguinte:

$$\int \frac{1}{ax^2 + bx + c} dx = \frac{2}{\sqrt{4ac - b^2}} \text{tg}^{-1} \left( \frac{2ax + b}{\sqrt{4ac - b^2}} \right)$$

Assim resulta:

$$L_I(t) \approx L_W - 11 + 10 \log \left( \left[ \frac{2}{\sqrt{4(d^2 + v^2 t^2) - (2vt)^2}} \text{tg}^{-1} \left( \frac{2x + 2vt}{\sqrt{4(d^2 + v^2 t^2) - (2vt)^2}} \right) \right]_{-l/2}^{l/2} \right)$$

$$L_I(t) \approx L_W - 11 + 10 \log \left( \left[ \frac{2}{\sqrt{4d^2 + 4v^2 t^2 - 4v^2 t^2}} \text{tg}^{-1} \left( \frac{2x + 2vt}{\sqrt{4d^2 + 4v^2 t^2 - 4v^2 t^2}} \right) \right]_{-l/2}^{l/2} \right)$$

$$L_I(t) \approx L_W - 11 - 10 \log(d) + 10 \log \left( \left[ \text{tg}^{-1} \left( \frac{x + vt}{d} \right) \right]_{-l/2}^{l/2} \right)$$

$$L_I(t) \approx L_W - 11 - 10 \log(d) + 10 \log \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2) + vt}{d} \right) - \text{tg}^{-1} \left( \frac{(-l/2) + vt}{d} \right) \right)$$

O valor máximo  $L_{Max}$  desta expressão ocorre para  $t = 0$  [instante em que o meio da Fonte de comprimento  $l$  passa em frente (ponto da distância perpendicular) do ponto de medição] e é dado por:

$$L_{Max} \approx L_W - 11 - 10 \log(d) + 10 \log \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)}{d} \right) - \text{tg}^{-1} \left( \frac{(-l/2)}{d} \right) \right) \text{ [dB]}$$

$$L_{Max} \approx L_W - 11 - 10 \log(d) + 10 \log \left( 2 \text{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)}{d} \right) \right) \text{ [dB]}$$

$$L_{Max} \approx L_W - 8 - 10 \log(d) + 10 \log \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)}{d} \right) \right) \text{ [dB]}$$

Escrevendo  $L_I(t)$  em função de  $L_{Max}$  tem-se:

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 3 - 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)}{d} \right) \right) + 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(-l/2)+vt}{d} \right) \right) \quad (51)$$

Pela definição de Nível de Exposição tem-se:

$$L_{ET} = 10 \log \left( \int_{-T/2}^{T/2} 10^{\frac{L_I(t)}{10}} dt \right) \text{ [dB]}$$

Ou seja:

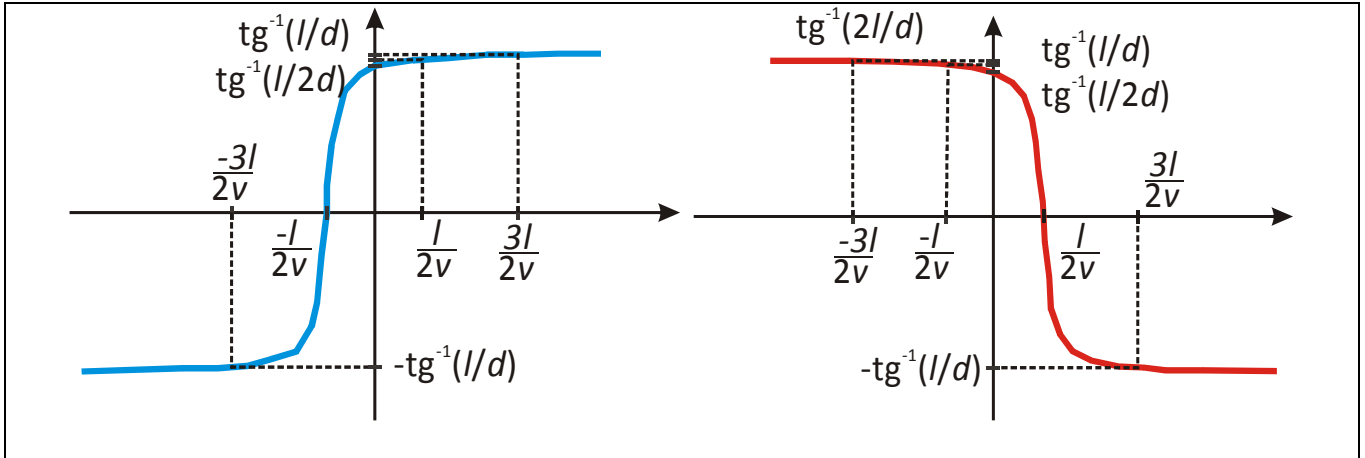
$$L_{ET} = 10 \log \left( \int_{-T/2}^{T/2} \left[ 10^{\frac{L_{Max} - 3 - 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)}{d} \right) \right) + 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(-l/2)+vt}{d} \right) \right)} \right] dt \right)$$

$$L_{ET} = L_{Max} - 3 - 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{l}{2d} \right) \right) + 10 \log \left( \int_{-T/2}^{T/2} \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(-l/2)+vt}{d} \right) \right) dt \right)$$

$$L_{ET} = L_{Max} - 3 - 10 \log \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{l}{2d} \right) \right) +$$

$$+ 10 \log \left( \int_{-T/2}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right) dt + \int_{-T/2}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1} \left( -\frac{(-l/2)+vt}{d} \right) dt \right)$$

Na Figura 89 apresentam-se os gráficos de  $\operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right)$  e de  $\operatorname{tg}^{-1} \left( -\frac{(-l/2)+vt}{d} \right)$ .



**Figura 89: Gráfico de  $\operatorname{Tg}^{-1} \left( \frac{(l/2)+vt}{d} \right)$  ( a azul) e de  $\operatorname{Tg}^{-1} \left( -\frac{(-l/2)+vt}{d} \right)$  (a vermelho)**

Verifica-se assim que, por exemplo, para o intervalo  $[-3l/2v, 3l/2v]$ , o integral da esquerda é nulo entre  $[-3l/2v, l/2v]$ , devido à simetria, sendo por isso igual apenas ao integral entre  $[l/2v, 3l/2v]$ . Igual conclusão aplica-se ao integral da direita, sendo igual apenas ao integral entre  $[-3l/2v, -l/2v]$ , sendo assim a soma dos dois integrais igual a 2 vezes um dos integrais nos intervalos referidos.

Escolhendo o integral da esquerda, tem-se que, de uma forma genérica, para o intervalo  $[-T/2, T/2]$ , o integral será nulo entre  $[-T/2, (l/2v) + ((-3l/2v) - (-T/2))]$ , ou seja  $[-T/2, (-2l+Tv)/2v]$ , portanto a soma dos

dois integrais é igual simplesmente a 2 vezes o integral da esquerda entre  $[(-2l+vT)/2v, T/2]$ .

Para  $T$  grande pode-se considerar que a linha do gráfico é aproximadamente recta, ou seja:

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{-2l+vT}{2v}\right)}{d}\right) \approx \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{T}{2}\right)}{d}\right)$$

logo o integral em causa (a área) é aproximadamente dada por:

$$\int_{(-2l+vT)/2v}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+vt}{d}\right) dt \approx \left(\frac{T}{2} - \frac{-2l+vT}{2v}\right) \times \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l+vT}{2d}\right)$$

$$\int_{(-2l+vT)/2v}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+vt}{d}\right) dt \approx \left(\frac{vT-vT+2l}{2v}\right) \times \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l+vT}{2d}\right)$$

$$\int_{(-2l+vT)/2v}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+vt}{d}\right) dt \approx \frac{l}{v} \times \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l+vT}{2d}\right)$$

Para  $T$  grande:

$$\int_{(-2l+vT)/2v}^{T/2} \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+vt}{d}\right) dt \approx \frac{l}{v} \times \frac{\pi}{2}$$

Ou seja (multiplicando por 2), tem-se:

$$L_E \approx L_{Max} - 3 - 10 \log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d}\right)\right) + 10 \log\left(\frac{2l\pi}{2v}\right)$$

$$L_E \approx L_{Max} - 3 + 10 \log(\pi) - 10 \log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d}\right)\right) + 10 \log\left(\frac{l}{v}\right)$$

$$L_E \approx L_{Max} + 2 - 10 \log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d}\right)\right) + 10 \log\left(\frac{l}{v}\right)$$

Relativamente ao intervalo de tempo necessário para que se tenha um resultado aproximado aceitável, diga-se (uma vez que  $10 \log(0,9) \approx -0,5$  dB, está-se com uma precisão de cerca de 0,5 dB):

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l+vT}{d}\right) \geq \frac{\pi}{2} 0,9$$

Vem:

$$\frac{l+vT}{d} \geq \operatorname{tg}\left(0,9 \frac{\pi}{2}\right)$$

$$T \geq \frac{6d-l}{v}$$

$$\frac{T}{2} \geq \frac{6d-l}{2v}$$

Como anteriormente se assumiu:

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{-2l+vT}{2v}\right)}{d}\right) \approx \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{T}{2}\right)}{d}\right)$$

Será necessário verificar se o valor obtido cumpre essa condição, ou seja:

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{-2l+v\left(\frac{6d-l}{2v}\right)}{2v}\right)}{d}\right) \approx \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{6d-l}{2}\right)}{d}\right)$$

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(3 - \frac{l}{d}\right) \approx \operatorname{tg}^{-1}(3)$$

Esta condição só será cumprida para  $l/d \rightarrow 0$ .

Utilizando a expressão (51), resulta, para  $t = \frac{6d-l}{2v}$  e para  $l/d \rightarrow 0$ :

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 3 - 10\log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d}\right)\right) + 10\log\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(l/2)+v\left(\frac{6d-l}{2v}\right)}{d}\right) - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(-l/2)+v\left(\frac{6d-l}{2v}\right)}{d}\right)\right)$$

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 3 + 10\log\left(\frac{\operatorname{tg}^{-1}(3) - \operatorname{tg}^{-1}\left(3 - \frac{l}{d}\right)}{\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{l}{2d}\right)}\right)$$

Pode-se demonstrar que a expressão dentro do logaritmo tem como máximo absoluto o valor 2, para  $l/d = 6$ , tende para 1,8 com  $l/d \rightarrow +\infty$ , e, ainda que não definida em  $l/d \rightarrow 0$ , tende para 0,2, ou seja, para este último caso que interessa:

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 3 + 10\log(0,2)$$

$$L_I(t) \approx L_{Max} - 10$$

Portanto para uma precisão da ordem de  $\pm 0,5$  dB, deve-se medir/calcular o  $L_E$  desde 10 dB abaixo (antes) do valor máximo até 10 dB abaixo (depois) do valor máximo.

## A1.3.PROPAGAÇÃO DE INCERTEZA NO CÁLCULO DE $L_{EQ,GLOBAL}$

Sendo o  $L_{eq,Global}$  dado por:

$$L_{eq,Global} = 10 \log \left( \frac{m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T} \right)$$

Tem-se que a incerteza global associada vem dada por [de notar que ao escrever a equação anterior em função de  $L_{eq}$  em vez de em função de  $L_E$  [ver equação (31)] é necessário colocar também as incertezas associadas ao tempo  $t_i$  de cada  $L_{eq,i}$ ; assume-se não haver incerteza associada ao número  $m_i$  de cada tipo de comboio]:

$$u = \sqrt{\left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,1}} u_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,2}} u_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} u_i \right)^2}$$

Sabendo que a derivada de  $\log_a(u)$  é genericamente dada por ( $a > 0$  e  $a \neq 1$ ) [182]:

$$\frac{\partial(\log_a(u))}{\partial x} = \frac{\log_a(e)}{u} \frac{\partial u}{\partial x}$$

Vem:

$$\frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} = 10 \frac{\log_{10}(e)}{\frac{m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T}} \frac{\partial \left( \frac{m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T} \right)}{\partial L_{E,i}}$$

Sabendo que a derivada de  $a^u$  é genericamente dada por ( $a > 0$ ) [182]:

$$\frac{\partial(a^u)}{\partial x} = a^u \ln(a) \frac{\partial u}{\partial x}$$

Vem:

$$\frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} = 10 \frac{\log_{10}(e)}{\frac{m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T}} \cdot \frac{m_i}{T} \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} \cdot \ln(10) \cdot \frac{1}{10}$$

Sabendo que [182]:

$$\log_a(N) = \frac{\log_b(N)}{\log_b(a)}$$

Pode-se escrever:

$$\frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} = 10 \frac{\log_{10}(e)}{\frac{10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{T}} \cdot \frac{m_i}{T} \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} \cdot \frac{\log_{10}(10)}{\log_{10}(e)} \cdot \frac{1}{10}$$

Ou seja:

$$\frac{\partial L_{eq,Global}}{\partial L_{E,i}} = \frac{m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}{m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}}}$$

Como:

$$L_{E,Global} = L_{eq,Global} + 10 \log(T) = 10 \log \left( m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} \right)$$

Resulta:

$$m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} + m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} + \dots + m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} = 10^{\frac{L_{E,Global}}{10}}$$

Ou seja:

$$u = \sqrt{\frac{\left( m_1 \cdot 10^{\frac{L_{E,1}}{10}} u_1 \right)^2 + \left( m_2 \cdot 10^{\frac{L_{E,2}}{10}} u_2 \right)^2 + \dots + \left( m_i \cdot 10^{\frac{L_{E,i}}{10}} u_i \right)^2}{10^{\frac{L_{E,Global}}{10}}}}$$

Como se queria demonstrar.

## A1.4.RELAÇÃO ENTRE FACTOR DE ATENUAÇÃO PONTUAL E LINEAR PARA VIBRAÇÃO AMBIENTE

De acordo com (45) pode-se escrever:

$$k(f)_{Linear} = \frac{\log \left( \frac{\sqrt{2 \int_{x=0}^1 v_{P2}^2(f) \times \left(\frac{d_2+x}{d_2}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}}{\sqrt{2 \int_{x=0}^1 v_{P1}^2(f) \times \left(\frac{d_1+x}{d_1}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = \frac{\log \left( \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{v_{P2}^2(f)} \times \sqrt{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_2+x}{d_2}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}}{\sqrt{2} \times \sqrt{v_{P1}^2(f)} \times \sqrt{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_1+x}{d_1}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = \frac{\log \left( \frac{v_{P2}(f)}{v_{P1}(f)} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} + \frac{\log \left( \frac{\sqrt{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_2+x}{d_2}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}}{\sqrt{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_1+x}{d_1}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_2+x}{d_2}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx}{\int_{x=0}^1 \left(\frac{d_1+x}{d_1}\right)^{2k(f)_{Pontual}} dx} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)}$$

Uma vez que (ver uma tabela de integrais, por exemplo [e26]):

$$\int (ax + b)^n dx = \frac{(ax+b)^{n+1}}{(n+1) \times a} \text{ para } n \neq -1$$

#### A1.4 Relação entre factor de atenuação pontual e linear para vibração ambiente

Pode-se escrever:

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\left( \frac{d_2+l}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - \left( \frac{d_2+0}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1}}{(2k(f)_{Pontual} + 1) \times \frac{1}{d_2}} \cdot \frac{\left( \frac{d_1+l}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - \left( \frac{d_1+0}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1}}{(2k(f)_{Pontual} + 1) \times \frac{1}{d_1}} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\left( \frac{d_2+l}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1}{\left( \frac{d_1+l}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

Fazendo  $l$  tender para infinito tem-se:

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\left( 1 + \frac{1}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1}{\left( 1 + \frac{1}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\left( \frac{1}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1}{\left( \frac{1}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1} - 1} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

Assim, se  $[2k(f)_{Pontual} + 1] > 0$ , ou seja, se  $k(f)_{Pontual} > -0,5$ , tem-se:

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 + \frac{\frac{1}{2} \log \left( \frac{\left( \frac{1}{d_2} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1}}{\left( \frac{1}{d_1} \right)^{2k(f)_{Pontual}+1}} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 - \frac{\frac{1}{2} (2k(f)_{Pontual} + 1) \times \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)}{\log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = 0$$

#### A1.4 Relação entre factor de atenuação pontual e linear para vibração ambiente

Assim, se  $[2k(f)_{Pontual} + 1] < 0$ , ou seja, se  $k(f)_{Pontual} < -0,5$ , tem-se:

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5 + \frac{\frac{1}{2} \log\left(\frac{-1}{-1}\right)}{\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \Leftrightarrow$$

$$k(f)_{Linear} = k(f)_{Pontual} + 0,5$$

## A2. ESPECTROS TEÓRICOS DE RECURSO

Dada a influência do tipo de Espectro na percepção e atenuação dos diferentes percursos, materiais e percipientes, é útil a definição de Espectros de referência para utilização em ensaios e previsões.

Existem 3 Espectros de referência principais, utilizados sobretudo em Ruído Ambiente, denominados em conformidade com as cores do Espectro luminoso:

1. Ruído Branco [183]:

É aquele cuja Intensidade Sonora duplica com o duplicar da frequência central de Bandas de Largura Proporcional, ou seja, é aquele cujo nível de intensidade aumenta 3 dB [ $10\log(2)\approx 3$ ] por oitava.

2. Ruído Rosa [183]:

É aquele que possui igual Intensidade em todas as Bandas de frequência.

3. Ruído Castanho [183]:

É aquele cuja Intensidade se reduz para metade com o duplicar da frequência central de Bandas de Largura Proporcional, ou seja, é aquele cujo Nível de Intensidade diminui 3 dB [ $10\log(2)\approx 3$ ] por oitava.

De acordo com o explicitado, verifica-se que o Espectro que possui maior expressão nas componentes graves é o Ruído Castanho. Uma vez que existem Fontes de ruído que possuem componentes graves ainda com maior expressão, afigurou-se adequado definir novos tipos de Espectro de referência, para tentar fazer face a tal situação, denominados por Ruído Branco (A), Ruído Rosa (A) e Ruído Castanho (A), e que correspondem assim às mesmas noções originais de Ruído Branco, Ruído Rosa e Ruído Castanho, mas aplicadas directamente aos Espectros já corrigidos pela Malha A de ponderação em frequência (ver [65]). Ou seja:

1. Ruído Branco (A):

É aquele que cresce 3 dB(A) por oitava.

2. Ruído Rosa (A):

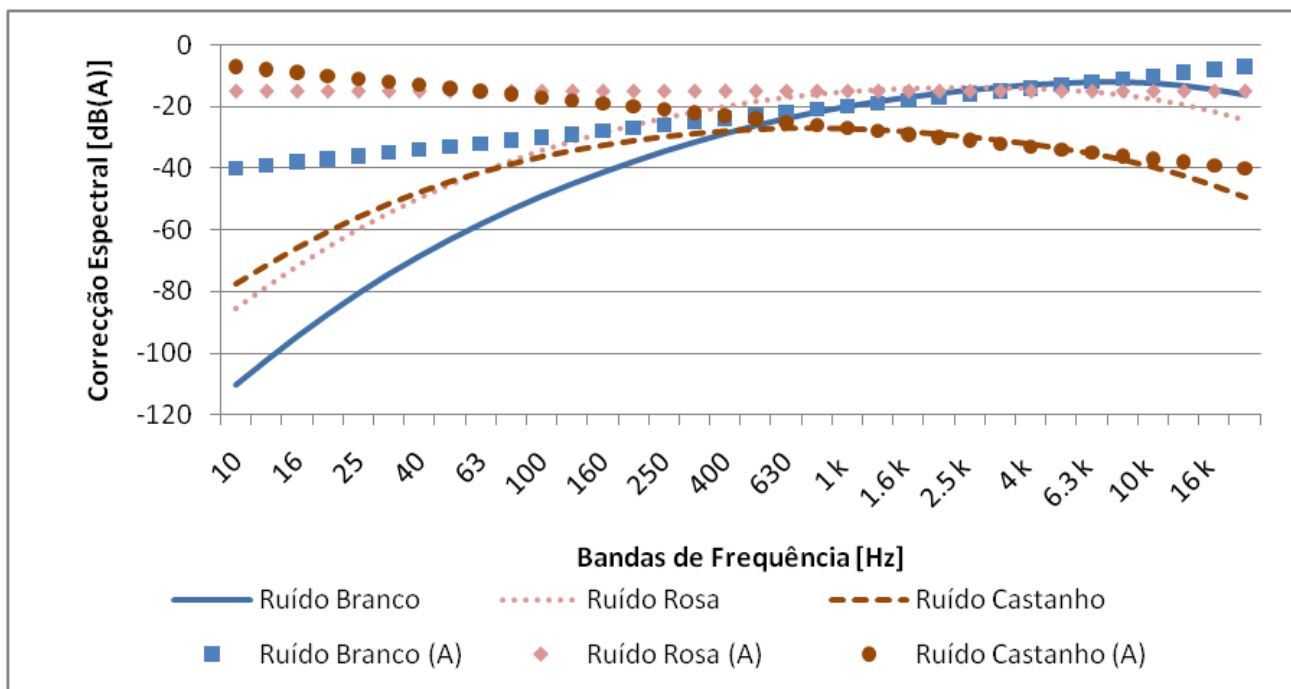
É aquele que possui igual nível de intensidade sonora ponderado (A) em todas as Bandas de

frequência.

### 3. Ruído Castanho (A):

É aquele que diminui 3 dB(A) por oitava.

Apresenta-se na Figura 90 o gráfico dos respectivos Ruído Branco, Ruído Rosa, Ruído Castanho, Ruído Branco (A), Ruído Rosa (A) e Ruído Castanho (A), em Malha A.

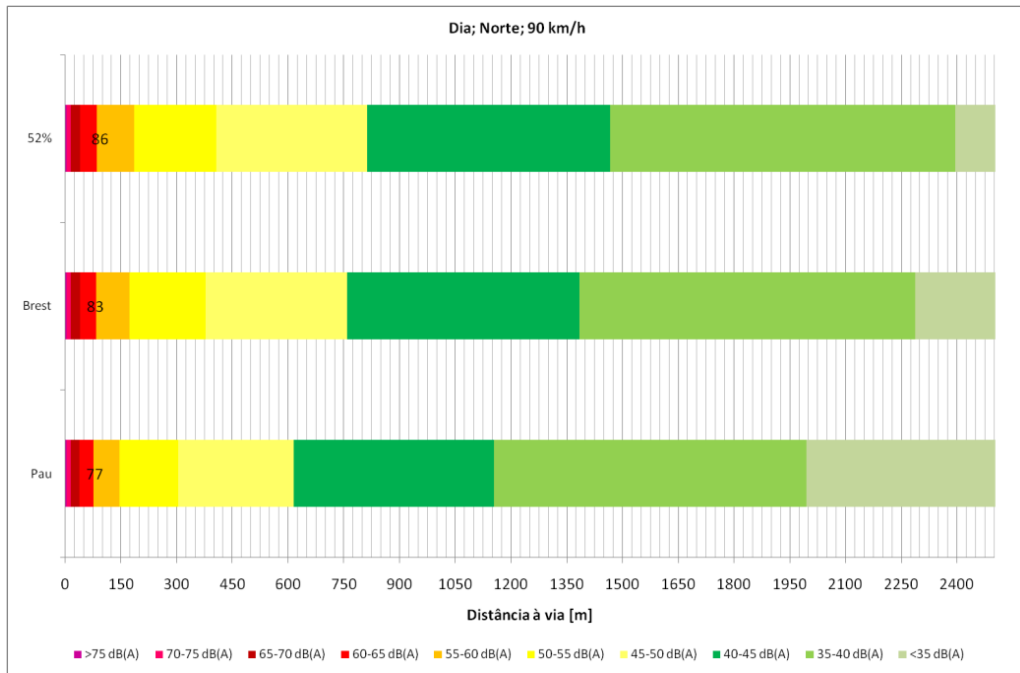


**Figura 90: Espectros teóricos de recurso**

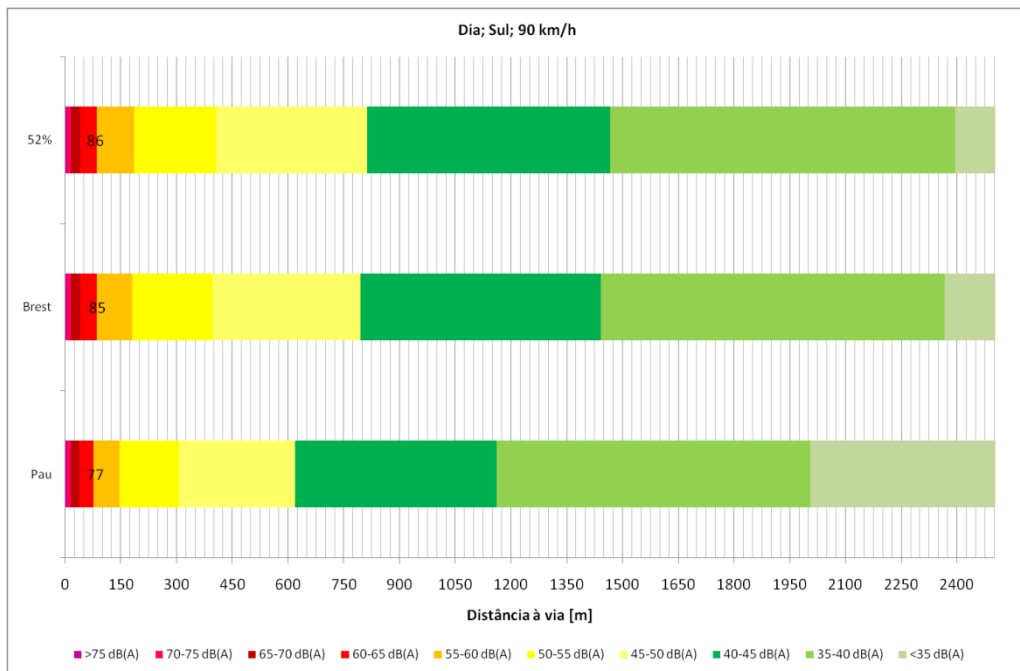
## **A3. COMPARAÇÃO DE MAPAS DE RUÍDO EM DIFERENTES CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

Apresentam-se nas figuras seguintes os resultados dos Mapas de Ruído a 4 m de altura, em campo livre sobre um solo com um coeficiente de Absorção Sonora de 0,8, associados a uma via recta muito longa, com um pavimento comum e com os seguintes dados de Tráfego Médio Horário (TMH) e percentagem de Pesados (x%):  $TMH_{Dia}$ : 485 (15%);  $TMH_{Entardecer}$ : 420 (10%);  $TMH_{Noite}$ : 105 (5%), conforme referido no capítulo 4.1.2.

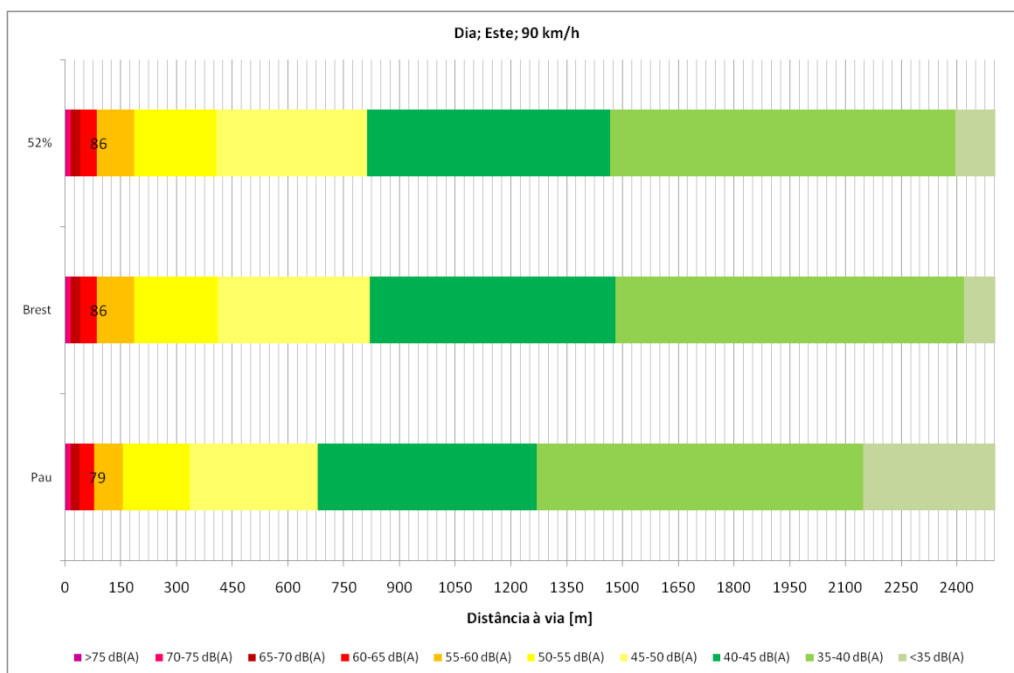
O *software* utilizado corresponde ao Cadna A/NMPB'96 (ver Apêndice A4).



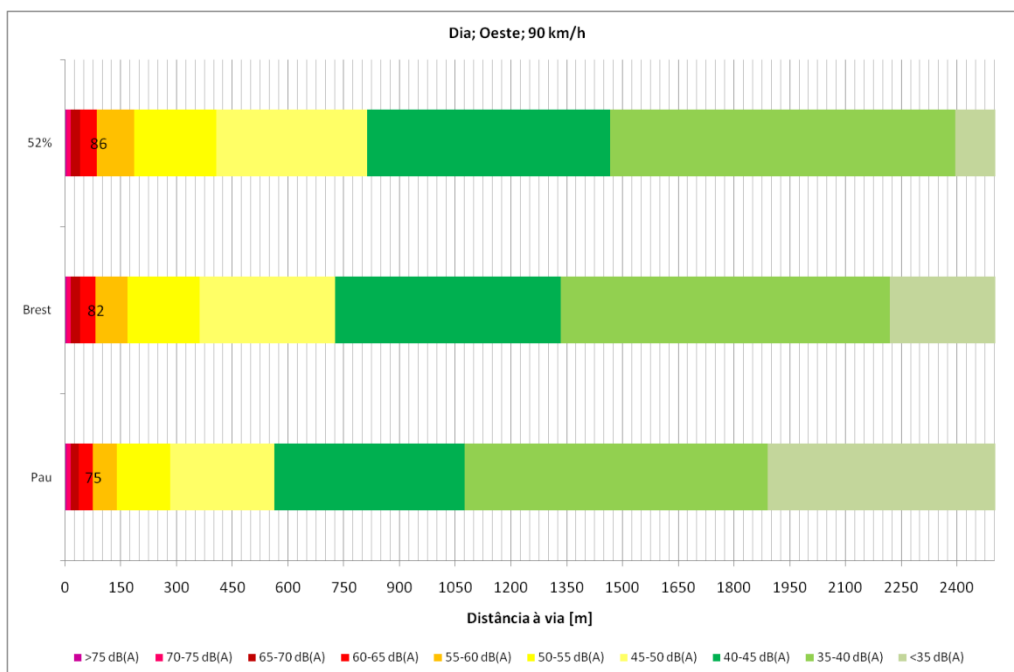
**Figura 91: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Norte; Velocidade de 90 km/h)**



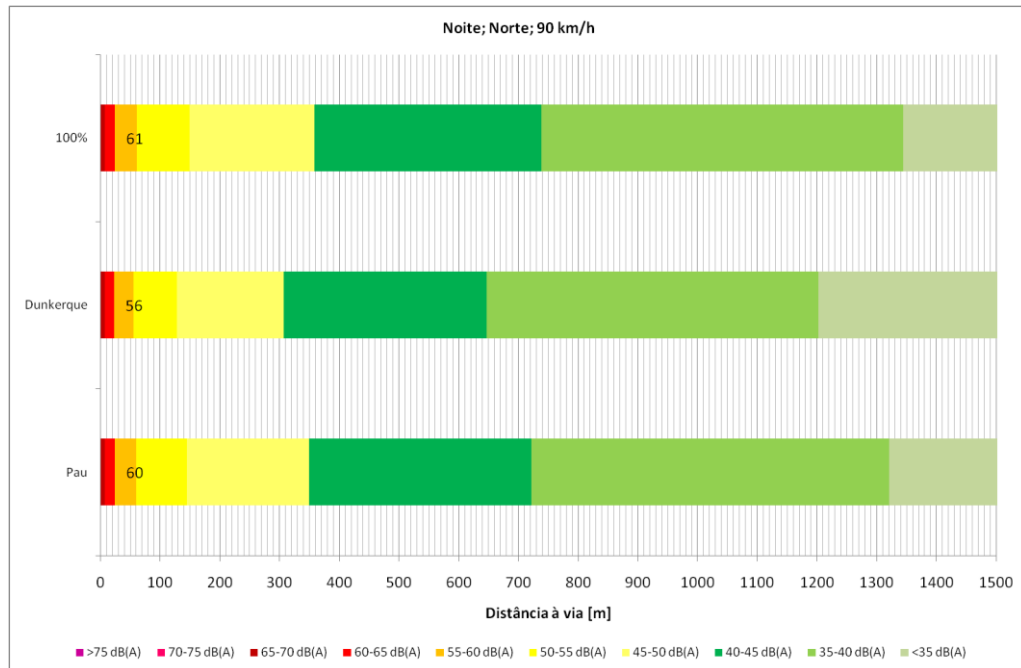
**Figura 92: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Sul; Velocidade de 90 km/h)**



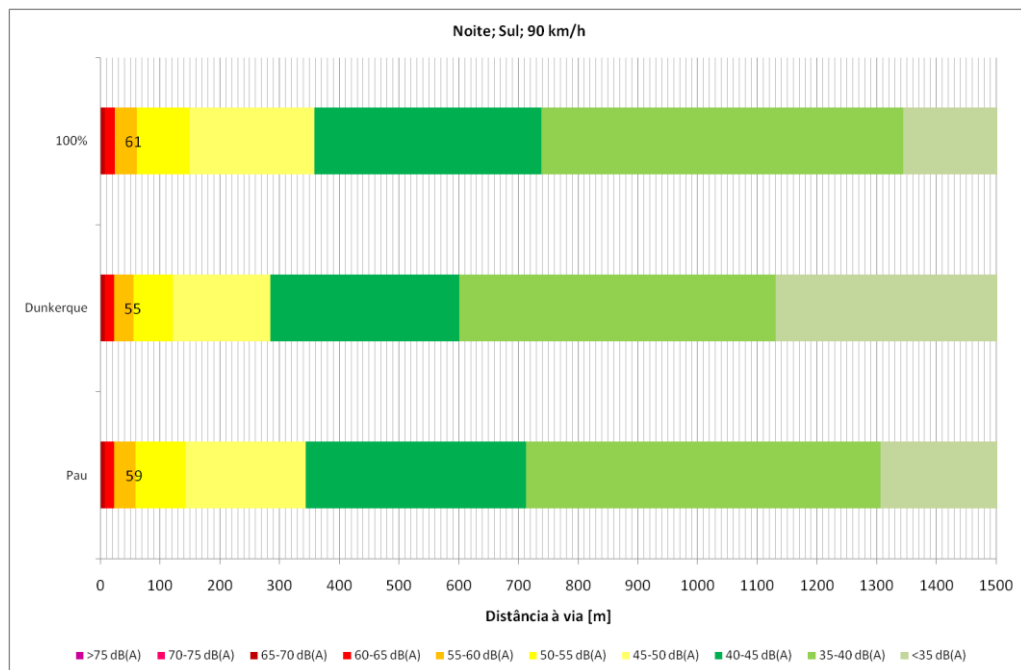
**Figura 93: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Este; Velocidade de 90 km/h)**



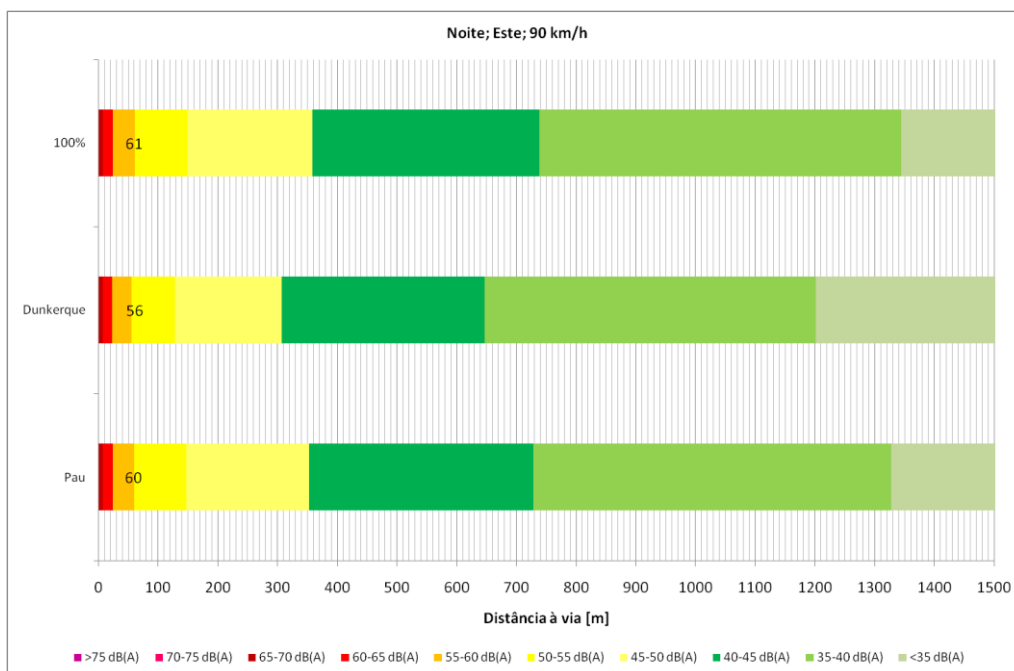
**Figura 94: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Oeste; Velocidade de 90 km/h)**



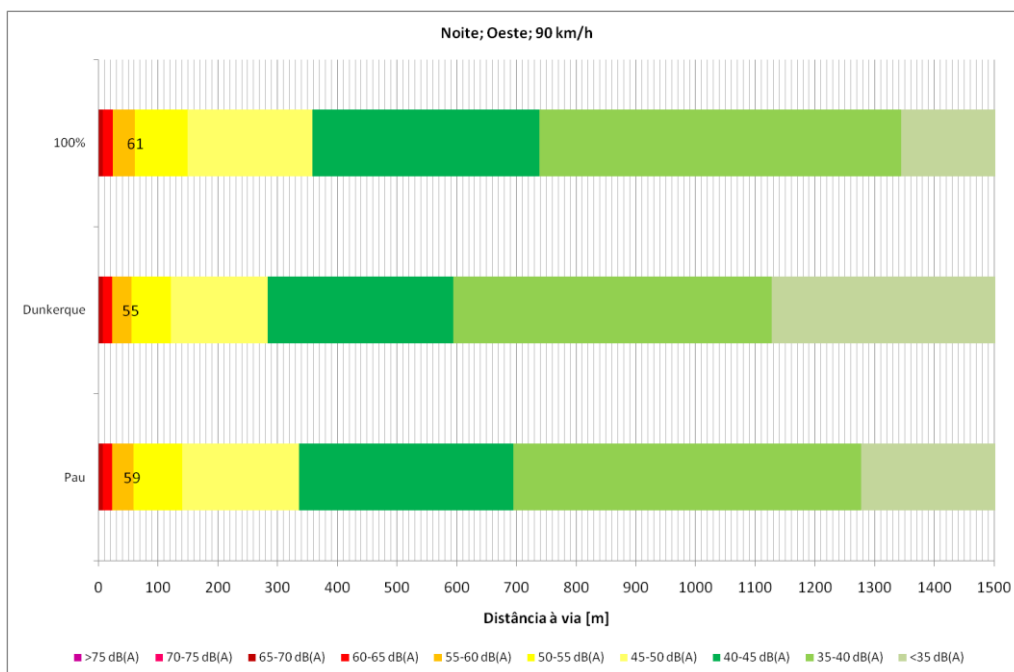
**Figura 95: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Norte; Velocidade de 90 km/h)**



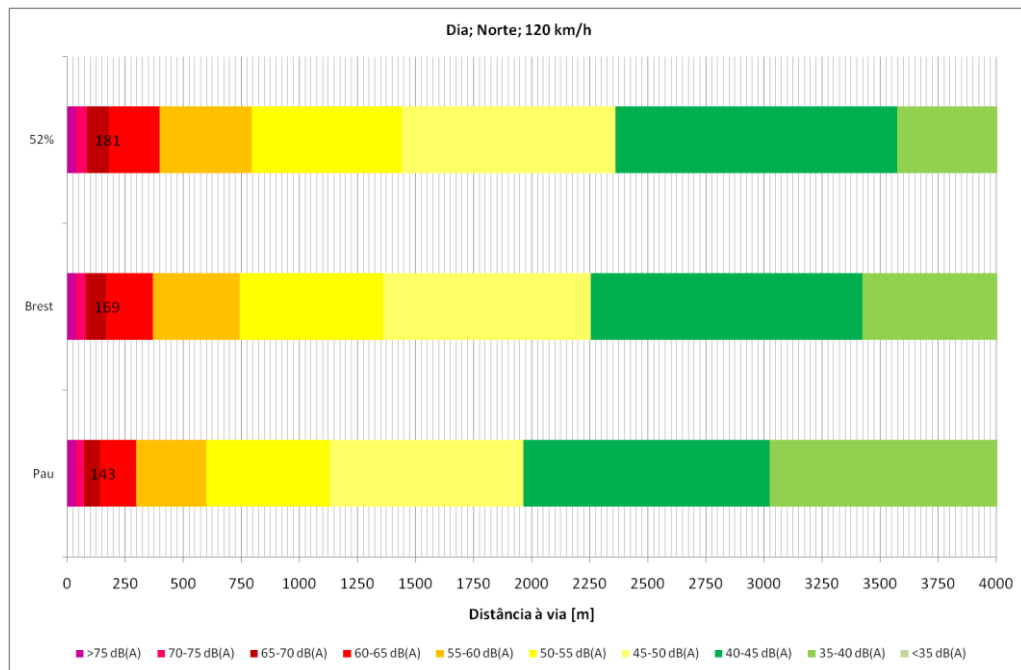
**Figura 96: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Sul; Velocidade de 90 km/h)**



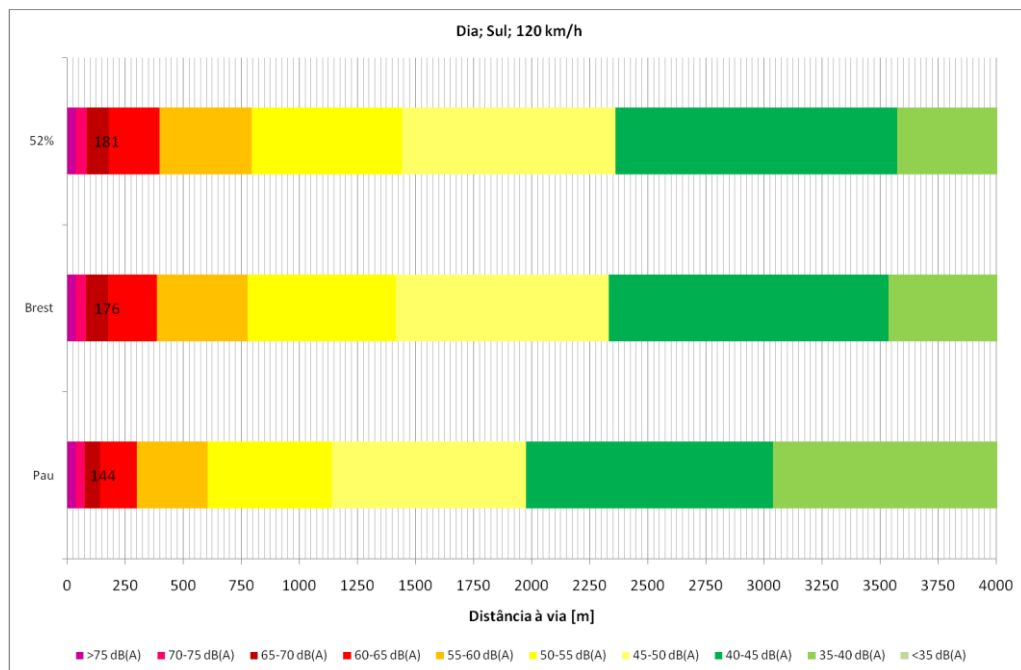
**Figura 97: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Este; Velocidade de 90 km/h)**



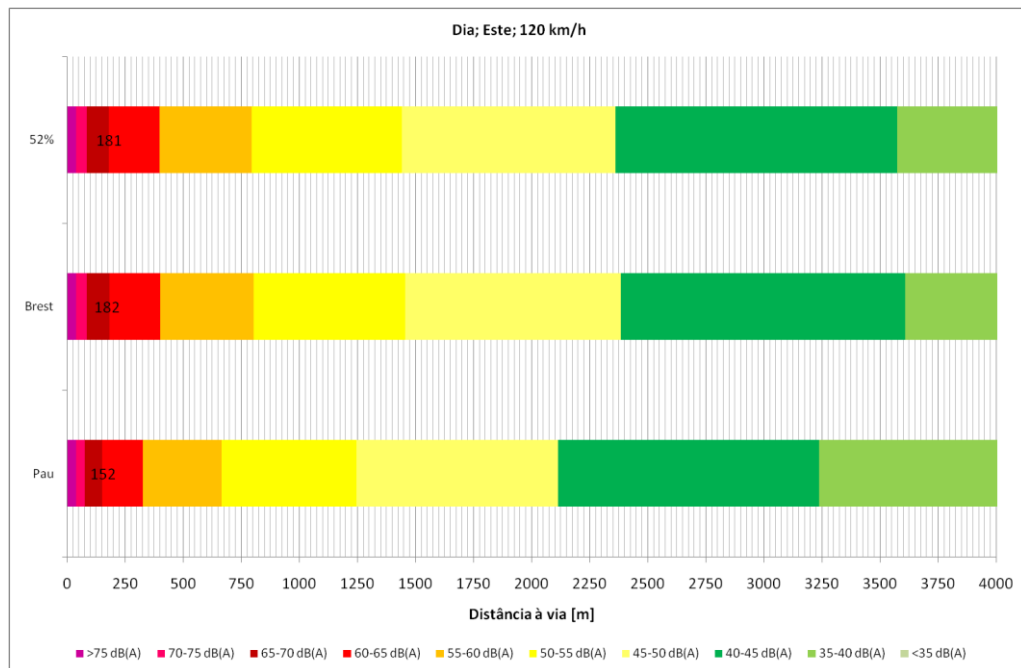
**Figura 98: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Oeste; Velocidade de 90 km/h)**



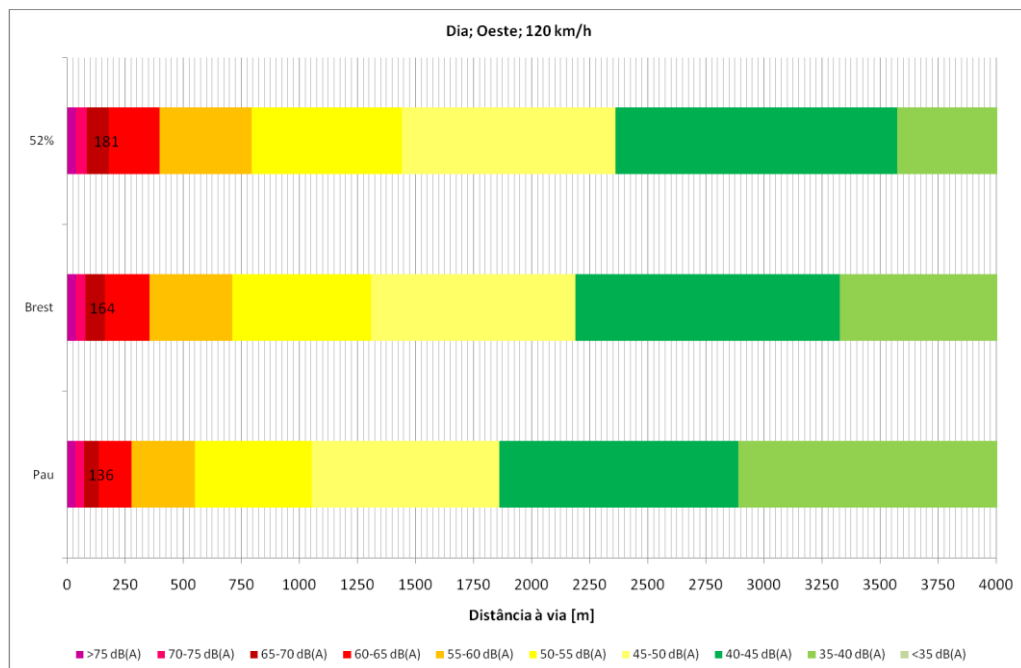
**Figura 99: Isolinas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Norte; Velocidade de 120 km/h)**



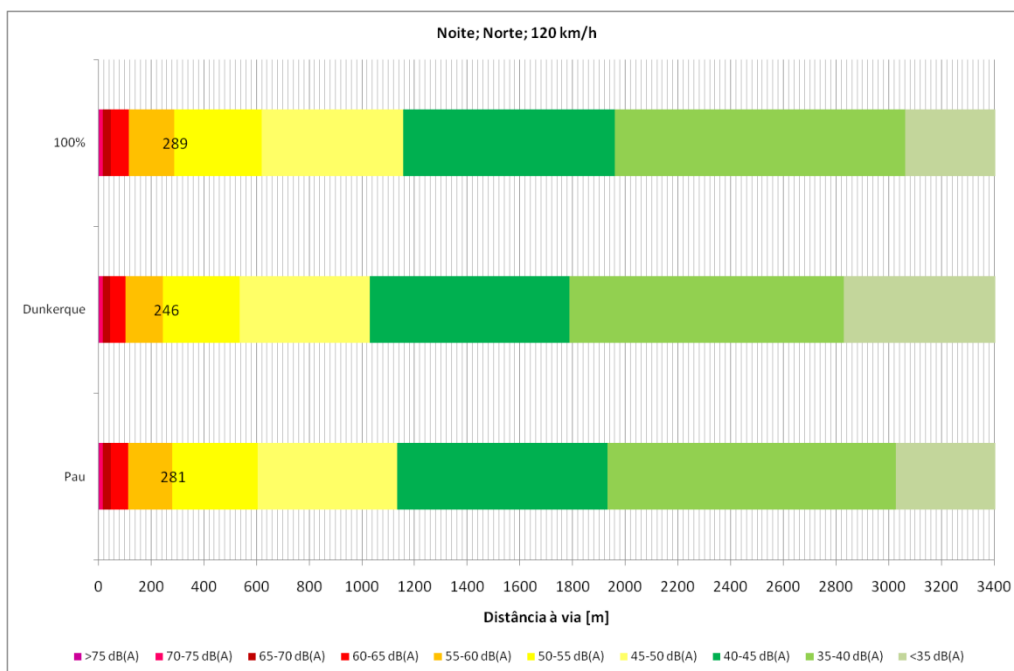
**Figura 100: Isolinas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Sul; Velocidade de 120 km/h)**



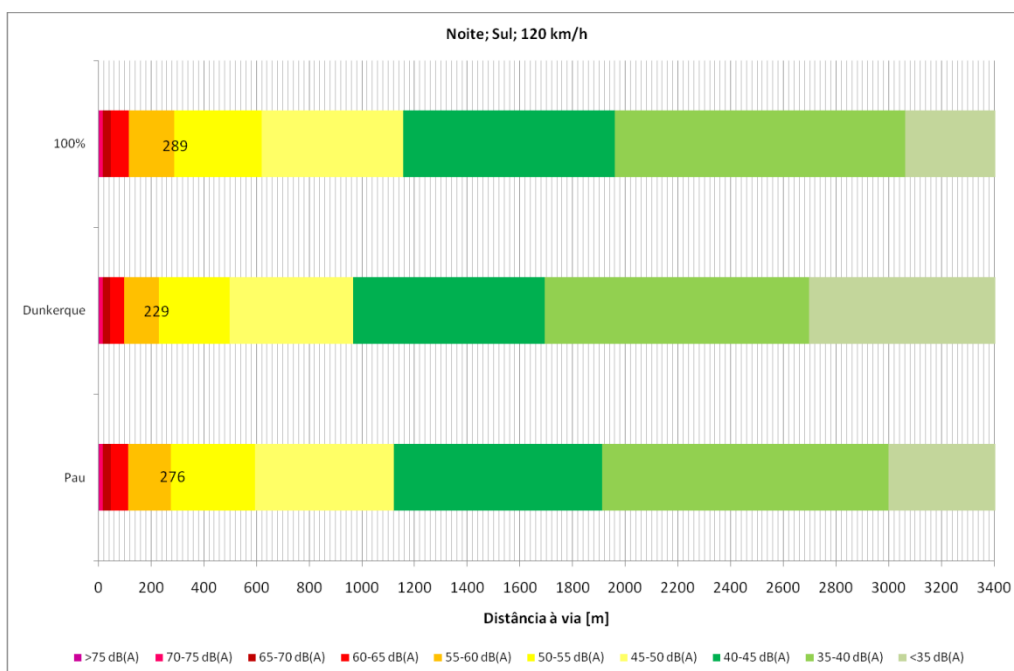
**Figura 101: Isolinas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Este; Velocidade de 120 km/h)**



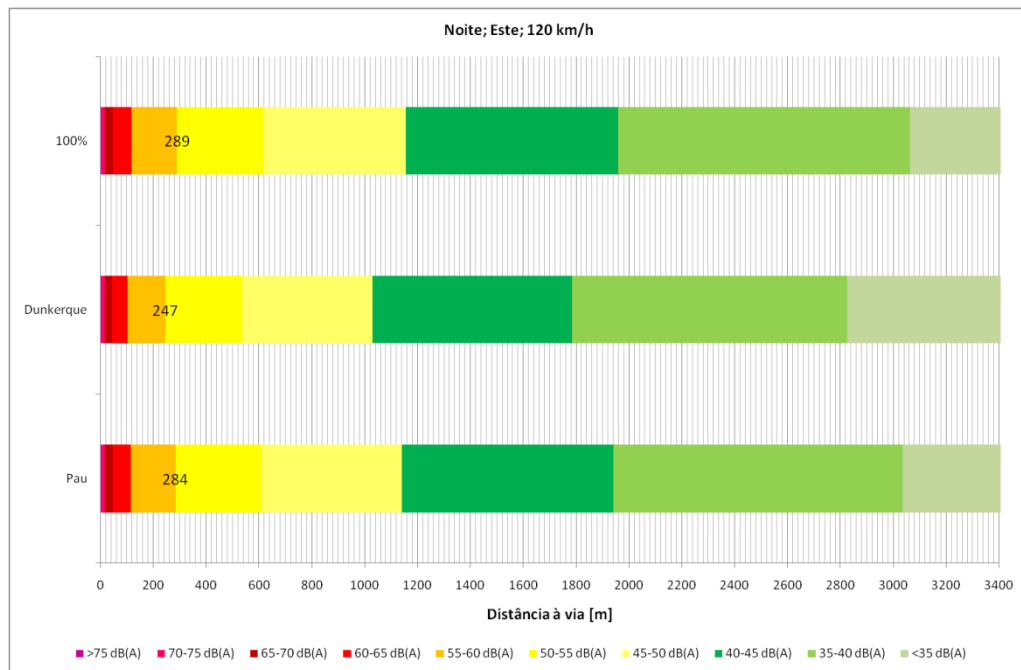
**Figura 102: Isolinas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Oeste; Velocidade de 120 km/h)**



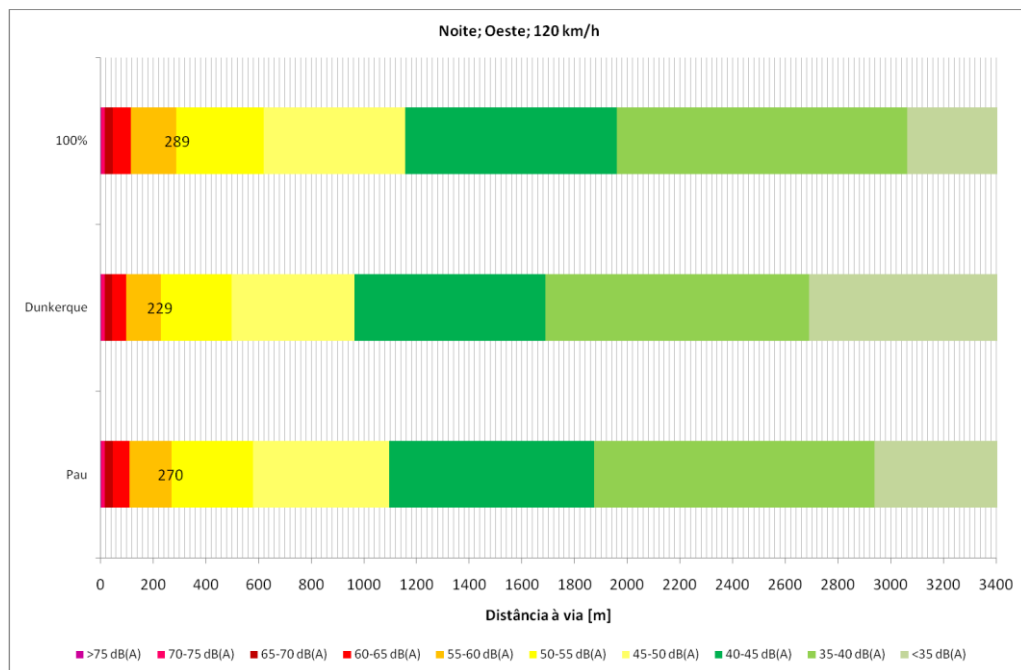
**Figura 103: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Norte; Velocidade de 120 km/h)**



**Figura 104: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Sul; Velocidade de 120 km/h)**



**Figura 105: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Este; Velocidade de 120 km/h)**



**Figura 106: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Oeste; Velocidade de 120 km/h)**

## **A4. LISTAGEM DOS EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E SOFTWARES UTILIZADOS NO PRESENTE TRABALHO**

Os equipamentos, acessórios e *softwares* principais utilizados no presente trabalho foram os seguintes:

1. Sonómetros de Classe 1:
  - NA27, RION, com respectivo calibrador, propriedade da Universidade do Algarve;
  - NA 27, RION, com respectivo calibrador e cabo de extensão de microfone 10 metros, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído;
  - Solo, 01 dB, com respectivo calibrador e cabo de extensão de microfone de 10 metros, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído;
2. Sonómetro de Classe 2: 8005, Peak Tech, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.
3. Suporte em altura: Suporte em altura variável, até 4 metros, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.
4. Vibrómetros:
  - Analisador Svantek 958, com acelerómetro IMI 626A04, propriedade da MRA Instrumentação;
  - Analisador Svantek 946A, com acelerómetros PCB 393B31 e Dytran 3192A, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.
5. Maço para produzir impulso de vibração: Propriedade de Carlos Rosado.
6. Velocímetro (Radar de velocidade): Bushnell, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.
7. Veículos de Teste:
  - Citroen C5, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído;
  - Ford Fiesta, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído;
  - Volvo FM12, propriedade da Transmedronhal, Transportes de Mercadorias.
8. Máquina de percussão: Propriedade da Universidade do Algarve.
9. Fontes sonoras artificiais Dodecaédricas, respectivos amplificadores e geradores de sinal:

- Propriedade da Universidade do Algarve;
- Propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.

10. Software de modelação acústica de exteriores: Cadna A, desenvolvido pela Datakustik [e27], versão 3.71.125, opção XL, contendo os métodos NMPB'96, SRMII, SCHALL 03 e ISO 9613-2, propriedade da SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.

## A5. SÍMBOLOS

$%A$ :	Percentagem média de pessoas incomodadas, em função dos níveis sonoros.
$%A_I$ :	Percentagem média de pessoas incomodadas, em função da Magnitude de Impacte.
$\theta$ :	Ângulo entre o sentido do vento e o sentido Fonte/Receptor.
$\varphi$ :	Ângulo entre os extremos laterais da Barreira Acústica e o Receptor (vértice).
$\alpha$ :	Coeficiente de Absorção Sonora.
$\alpha_{s,i}$ :	Coeficiente de Absorção Sonora da superfície $S_i$ .
$\alpha_{s,k}$ :	Coeficiente de Absorção Sonora do conjunto de objectos $k$ .
$\sigma$ :	Desvio padrão.
$\Delta$ :	Diferença de percursos numa Barreira Acústica.
$\Delta$ :	Diferença entre o Nível de Avaliação do Ruído Ambiente que integra o Ruído Particular da actividade, e o Ruído Residual (Critério de Incomodidade).
$\Delta u$ :	Valor numérico da diferença de velocidades do vento, expressas em m/s, a 10 m e a 0,5 m acima do solo.
$\Delta T$ :	Valor numérico da diferença de temperaturas do ar, expressas em Kelvin, a 10 m e a 0,5 m acima do solo.
$\Delta L$ :	Diferença de níveis sonoros.
$\Delta L_{TC}$ :	Variação dos níveis sonoros com a temperatura do pavimento.
$\Delta L_{ta}$ :	Audibilidade tonal.
$\Delta t$ :	Diferença de tempo.
$\Psi$ :	Fracção volumétrica de objectos.
$\xi$ :	Factor de expansão.
$\Lambda$ :	Determinante das Matrizes de Atenuação (Método Relacional).
$u$ :	Incerteza padrão.
$u_{souc}$ :	Incerteza padrão devido à Fonte.
$\delta$ :	Coeficiente de Dispersão Sonora.
$\delta_{x=0}$ ; $\delta_{x=L}$ :	Coeficiente de Dispersão Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos xx.
$\delta_{y=0}$ ; $\delta_{y=B}$ :	Coeficiente de Dispersão Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos yy.
$\delta_{z=0}$ ; $\delta_{z=H}$ :	Coeficiente de Dispersão Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos zz.

$\sqrt{n}$ :	Raiz quadrada do número de medições.
$\bar{v}$ :	Velocidade média.
$\oplus$ :	Soma Energética.
$\ominus$ :	Subtracção Energética.
$\langle I \rangle$ :	Média aritmética das Magnitude de Impacte.
$\langle J \rangle$ :	$\langle J \rangle = (40 - 1,667 \times \langle I \rangle)$ (Adaptação das relações dose-efeito para a Magnitude de Impacte).
$\langle L_{den,Ar} \rangle$ :	Média aritmética de $L_{den,Ar}$ .
$A^*_d$ :	Área de Absorção Sonora efectiva para o campo difuso.
$A^*_x$ :	Área de Absorção Sonora efectiva para o campo incidente segundo o eixo dos xx.
$A^*_{xyzd}$ :	Área de Absorção Sonora efectiva para o campo total para as baixas frequências.
$A^*_y$ :	Área de Absorção Sonora efectiva para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$A^*_z$ :	Área de Absorção Sonora efectiva para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$A_{f,1/1}$ :	Atenuação para a Banda de frequência central $f$ , de 1/1 de oitava.
$A_{f,1/3}$ :	Atenuação para a Banda de frequência central $f$ , de 1/3 de oitava.
$A$ :	Atenuação geral do som.
$a$ :	Factor de atenuação (após linearização da equação de relação; Método Relacional)
$a_c$ :	Área de contacto na medição laboratorial do ruído de impacto (juntas de dilatação).
$A'_d$ :	Área de Absorção Sonora de dispersão para o campo difuso.
$A'_x$ :	Área de Absorção Sonora de dispersão para o campo incidente segundo o eixo dos xx.
$A'_y$ :	Área de Absorção Sonora de dispersão para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$A'_z$ :	Área de Absorção Sonora de dispersão para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$A_{air}$ :	Área de Absorção Sonora Equivalente do ar.
$A_{atm}$ :	Atenuação sonora devido à absorção atmosférica.
$A_{barr}$ :	Atenuação sonora produzida pela Barreira Acústica.
$A_d$ :	Área de Absorção Sonora para o campo difuso.
$A_{div}$ :	Atenuação devido à divergência geométrica.
$A_{eq}$ :	Área de Absorção Sonora Equivalente.
$A_{gr}$ :	Atenuação sonora devido ao efeito do solo.
$A_{misc}$ :	Atenuação sonora devido a uma miscelânea de efeitos.
$A_{obj,j}$ :	Área de Absorção Sonora Equivalente do objecto $j$ .
$A_x$ :	Área de Absorção Sonora para o campo incidente segundo o eixo dos xx.
$A_{x=0}; A_{x=L}$ :	Área de Absorção Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos xx.

$A_y$ :	Área de Absorção Sonora para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$A_{y=0}; A_{y=B}$ :	Área de Absorção Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos yy.
$A_z$ :	Área de Absorção Sonora para o campo incidente segundo o eixo dos zz.
$A_{z=0}; A_{z=H}$ :	Área de Absorção Sonora das superfícies perpendiculares aos eixos dos zz.
$c$ :	Velocidade do Som.
$C$ :	Desvio padrão típico para Rodovias e Ferrovias.
$C_{0,dia}$ :	Valor assumido por $C_0$ durante o período diurno.
$C_{0,entardecer}$ :	Valor assumido por $C_0$ durante o período do entardecer.
$C_{0,noite}$ :	Valor assumido por $C_0$ durante o período nocturno.
$C_{0,vib}$ :	Velocidade de referência do comboio para previsão da vibração (70 km/h).
$C_0$ :	Factor, em decibel, que depende das estatísticas meteorológicas locais (NP 4361-2).
$C_1, \dots, C_9$ :	Categoria 1 a 9 do método SRM.
$C_f$ :	Valor assumido por $C_0$ para Condições Favoráveis.
$C_h$ :	Correcção da Altura da Fonte Pontual, para previsão expedita.
$C_{hc}$ :	Valor assumido por $C_0$ para condições homogéneas, em particular condições de <i>crosswind</i> (vento perpendicular)..
$C_{hu}$ :	valor assumido por $C_0$ para condições homogéneas, em particular condições de <i>upwind</i> (vento contra).
$C_{húmido}$ :	Velocidade do som no ar húmido.
$c_{seco}$ :	Velocidade do som no ar seco.
$C_T$ :	Correcção do tipo de veículo (Rodovias e Ferrovias), para previsão expedita.
$C_v$ :	Correcção da velocidade dos veículos (Rodovias e Ferrovias), para previsão expedita.
$C_{vib}$ :	Velocidade do comboio para previsão da vibração.
$D_\theta$ :	Factor de directividade na direcção $\theta$ .
$D$ :	Correcção do limite do Critério de Incomodidade em função da Duração Acumulada.
$D$ :	Diferença de níveis sonoros entre compartimentos (Isolamento Bruto).
$d$ :	Distância à Fonte.
$D_{0,vib}$ :	Distância de referência à linha férrea para previsão da vibração (20 m).
$D_{2m,n}$ :	Isolamento a sons aéreos, Normalizado, entre o exterior e o interior de um compartimento.
$D_{2m,nT}$ :	Isolamento a sons aéreos, Padronizado, entre o exterior e o interior de um compartimento.
$D_{2m}$ :	Isolamento a sons aéreos, Bruto, entre o exterior e o interior de um compartimento.
$d_{br}$ :	Distância Barreira/Receptor.

$D_c$ :	Correcção de Directividade.
$d_{fb}$ :	Distância Fonte/Barreira.
$d_{fr}$ :	distância Fonte/Receptor.
$d_h$ :	Distância horizontal à Fonte.
$d_{min}$ :	Distância mínima entre Sonómetros.
$D_n$ :	Isolamento a sons aéreos, Normalizado, entre compartimentos.
$D_{nT}$ :	Isolamento a sons aéreos, Padronizado, entre compartimentos.
$d_{via}$ :	Distância à via.
$D_{vib}$ :	Distância à linha férrea para previsão da vibração.
$f$ :	Frequência.
$f_0$ :	Frequência de referência (1000 Hz).
$F_B$ :	Factor de amplificação do edifício para previsão de vibração.
$FC$ :	Factor de Comparação.
$F_C$ :	Factor de variação da vibração com a velocidade dos comboios.
$F_D$ :	Factor de variação da vibração com a distância à Linha Férrea.
$F_R$ :	Factor de qualidade da linha férrea para previsão de vibração.
$f_t$ :	Frequência de Transição (Baixas/Altas Frequências).
$h_{barr}$ :	Altura da Barreira.
$h_r$ :	Altura do Receptor.
$h_{ref}$ :	Altura de referência.
$h_s$ :	Altura da Fonte.
$I$ :	Magnitude do Impacte.
$I$ :	Intensidade Sonora.
$I_0$ :	Intensidade Sonora de referência.
$k_A$ :	Número de factores de atenuação que têm de corresponder a constantes conhecidas (Método Relacional).
$K_f$ :	Factor de atenuação da vibração para Fonte Linear.
$k_f$ :	Factor de atenuação da vibração para Fonte Pontual.
$k_{min,f}$ :	Valor mínimo do Factor de atenuação da vibração para Fonte Pontual.
$K_t$ :	Correcção tonal.
$K_{T1}$ :	Correcção do período $T_1$ para cálculo da média energética ponderada.
$K_{T2}$ :	Correcção do período $T_2$ para cálculo da média energética ponderada.

$L_G$ :	Nível sonoro em um Receptor genérico.
$L_\theta$ :	Nível sonoro na direcção $\theta$ .
$L$	Nível sonoro.
$l$ :	Comprimento de uma fonte linear finita.
$L; B; H$ :	Comprimento, largura e altura de uma espaço fechado rectangular.
$L'$ :	Isolamento a sons de percussão, Bruto.
$L'_n$ :	Isolamento a sons de percussão, Normalizado.
$L'_{nT}$ :	Isolamento a sons de percussão, Padronizado.
$L_{10}$ :	Nível sonoro com 10% de probabilidade de ser excedido.
$L_{90}$ :	Nível sonoro com 90% de probabilidade de ser excedido.
$L_A$	Nível sonoro, ponderado A.
$L_a$ :	Nível sonoro do Ruído Aéreo, radiado directamente pela Máquina de Percussão no compartimento Emissor.
$L_I; L_{II}$ :	Nível sonoro I e Nível sonoro II.
$L_{Aeq}$ :	Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A.
$L_{Ar,nT}$ :	Nível de Avaliação, Ponderado A, Padronizado.
$L_{Ar}$ :	Nível de Avaliação, Ponderado A.
$L_{Aw}$ :	Nível de Potência Sonora, ponderado A.
$l_{barr}$ :	Comprimento de uma Barreira Acústica.
$L_{CE}$ :	Nível de exposição sonora ponderado C.
$L_d$ :	Nível dia.
$L_{den}$	Nível dia-entardecer-noite.
$L_{den,Ar}$	Nível dia-entardecer-noite, de avaliação.
$L_{dia}$ :	Nível dia.
$L_E$ :	Nível de Exposição Sonora.
$L_e$ :	Nível entardecer.
$L_e$ :	Nível sonoro do Ruído Estrutural da Máquina de percussão no compartimento Emissor.
$L_{ecq}$ :	Parâmetro limitativo estabelecido pela Roménia, na base de dados CIRCA, mas não definido.
$L_{entardecer}$ :	Nível entardecer.
$L_{eq, Global}$ :	Nível sonoro contínuo equivalente global.
$L_{eq}$ :	Nível sonoro contínuo equivalente.

---

$L_{eqT1}$ :	Nível sonoro contínuo equivalente durante o período $T_1$ :
$L_{eqT2}$ :	Nível sonoro contínuo equivalente durante o período $T_2$ :
$L_{etm}$ :	Valor máximo dos seguintes 3 parâmetros: $L_{dia}$ , $L_{entardecer}+5$ e $L_{noite}+10$ .
$l_G$ :	Nível sonoro no Receptor genérico (após linearização da equação de relação; Método Relacional).
$l_M$ :	Nível sonoro no ponto de medição (após linearização da equação de relação; Método Relacional).
$L_{Max}$ :	Nível máximo.
$L_{ME}$ :	Média energética dos níveis sonoros.
$L_{MEP}$ :	Média energética ponderada dos níveis sonoros.
$L_n$ :	Nível noite.
$L_{noite}$ :	Nível noite.
$L_{r,corrigido}$ :	Nível sonoro no compartimento Receptor devido à Máquina de Percussão no compartimento Emissor, corrigido do Ruído Aéreo da Máquina de Percussão.
$L_r$ :	Nível sonoro no compartimento Receptor devido à Máquina de Percussão no compartimento Emissor.
$L_{RE}$ :	Nível de Avaliação de Exposição Sonora.
$L_s$ :	Nível sonoro do Ruído Aéreo de Máquina de Percussão no compartimento Emissor.
$L_{w/m}$ :	Nível de Potência Sonora por unidade de comprimento.
$l_w$ :	Nível de potência sonora (após linearização da equação de relação; Método Relacional).
$L_w$ :	Nível de Potência Sonora.
$L_{wV1a}$ :	Nível de potência sonora da via 1 antes da implementação do pavimento;
$L_{wV1d}$ :	Nível de potência sonora da via 1 depois da implementação do pavimento;
$L_{wV2a}$ :	Nível de potência sonora da via 2 antes da implementação do pavimento;
$L_{wV2d}$ :	Nível de potência sonora da via 2 depois da implementação do pavimento;
$M$ :	Massa.
$m$ :	quantidade de níveis sonoros individuais.
$m_P$ :	Coefficiente de Atenuação da Potência.
$N$ :	Número de Receptores Potencialmente Afectados.

---

$n_l$ :	Número de veículos Ligeiros.
$N_x, N_y$ e $N_z$ :	Número relativo de Modos Próprios segundo o eixo dos xx, o eixo dos yy e o eixo dos zz.
$p_d$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis à propagação, durante o período diurno.
$p_e$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis à propagação, durante o período do entardecer.
$p_f$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis.
$p_h$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Homogéneas, em particular condições de vento contra.
$p_{h_1}$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Homogéneas.
$p_{hc}$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Homogéneas, em particular condições de <i>crosswind</i> (vento perpendicular).
$p_n$ :	Probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis à propagação, durante o período nocturno.
$Q$ :	Quantidade de Fontes.
$Q_{ref}$ :	Quantidade de Fontes de referência
$R$ :	Raio de Curvatura dos raios sonoros.
$r$ :	Distância radial.
$S_i$ :	Área da superfície $i$ .
$S_k$ :	Área da superfície ocupada pelo Conjunto de objectos $k$ .
$T$ :	Tempo total.
$t$ :	Tempo.
$T_1$ :	Tempo total parcial 1.
$T_2$ :	Tempo total parcial 2.
$T_d$ :	Tempo de Reverberação para o campo difuso.
$t_{e,d}$ :	Número de horas retirado ao período do entardecer original de 4 horas e adicionado ao período diurno original de 12 horas pelo Estado Membro.
$t_{e,n}$ :	Número de horas retirado ao período do entardecer original de 4 horas e adicionado ao período nocturno original de 8 horas pelo Estado Membro.
$T_{Estimativa}$ :	Melhor estimativa do Tempo de Reverberação.
$T_{EstimativaBF}$ :	Melhor estimativa do Tempo de Reverberação para as baixas frequências.

$t_m$ :	Duração do nível $L_m$ .
$T_{°C}$ :	Temperatura em graus Célsius.
$T_{rev,Irregular}$ :	Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora irregular.
$T_{rev,Regular}$ :	Tempo de Reverberação em espaços com Absorção Sonora regular.
$T_{rev}$ :	Tempo de Reverberação.
$T_x$ :	Tempo de Reverberação para o campo incidente segundo o eixo dos xx.
$T_y$ :	Tempo de Reverberação para o campo incidente segundo o eixo dos yy.
$T_z$ :	Tempo de Reverberação para o campo incidente segundo o eixo dos zz.
$v$ :	Velocidade.
$V$ :	Volume em vazio do compartimento fechado em causa.
$V$ :	Velocidade em km/h.
VdB:	Nível de velocidade de vibração.
$v_{ef,0}$	Velocidade de vibração eficaz máxima medida à distância de referência.
$v_{ef}$ :	Velocidade eficaz de vibração.
$v_{eq}$ :	Velocidade Contínua Equivalente.
$v_{G,16-250Hz}$ :	Velocidade de vibração global para a gama 16 a 250 Hz.
$v_{G,1-80Hz}$ :	Velocidade de vibração global para a gama 1 a 80 Hz.
$v_{max,ef,1s}$ :	Valor máximo das velocidades eficazes de vibração de segundo a segundo.
$v_{max,f,P}$ :	Valor máximo das velocidades eficazes de vibração de segundo a segundo, na banda de frequência central $f$ no ponto $P$ .
$V_{obj,j}$ :	Volume de cada objecto $j$ .
$V_{obj,k}$ :	Volume de cada conjunto de objectos $k$ .
$v_{pico}$ :	Velocidade de pico de vibração.
X:	Incerteza padrão devido às condições de operação da Fonte sonora.

## A6. SIGLAS

AIA:	Avaliação de Impacte Ambiental.
ALFA:	Coeficiente de Absorção Sonora.
Alt.:	Alternativa.
APA:	Agência Portuguesa do Ambiente.
Cadna A:	<i>Computer Aided Noise Abatement (Software de modelação acústica de exteriores).</i>
CEN:	Comité Europeu de Normalização.
CIRCA:	<i>Communication &amp; Information Resource Centre Administrator.</i>
CSS:	<i>Cascading Style Sheets.</i>
dB(A):	Decibel A.
dB(C):	Decibel C.
DEFRA:	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs.</i>
DL:	Decreto-Lei.
ECAC.CEAC:	<i>European Civil Aviation Conference ou Conférence Européenne de l'Aviation Civile.</i>
EN:	Estrada Nacional.
EN:	Norma Europeia.
FFT:	<i>Fast Fourier Transform.</i>
HTML:	<i>HyperText Markup Language.</i>
HYENA:	<i>Hypertension and Exposure to Noise near Airports.</i>
IDE:	<i>Integrated Development Environment.</i>
IMAGINE:	<i>Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment.</i>
IPAC:	Instituto Português de Acreditação.
ISO:	<i>International Organization for Standardization.</i>
IST:	Instituto Superior Técnico.
L; Lig.:	Ligeiros.
LNEC:	Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
LOAEL:	<i>Lowest Observed Adverse Effect Level.</i>
MEH:	Modelo Europeu Harmonizado.

mph:	Milhas por hora.
MySQL:	<i>Structured Query Language.</i>
NF:	<i>Norme Française.</i>
NMPB:	<i>Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit.</i>
NNG:	<i>Night noise guideline.</i>
NOEL:	<i>No Observed Effect Level.</i>
NP:	Norma Portuguesa.
NT ACOU:	<i>NorTest Method</i> em Acústica.
P; Pes.:	Pesados.
PC:	<i>Personal Computer.</i>
PHP:	<i>Hypertext Preprocessor, Personal Home Page.</i>
PO:	Probabilidade de Ocorrência.
R:	Receptor.
RA:	Ruído Ambiente.
RANCH:	<i>Road Traffic &amp; Aircraft Noise &amp; Children's Cognition &amp; Health.</i>
RBP:	Regra de Boa Prática.
Ref.:	Ruído de Referência.
Res.:	Ruído Resultante.
RGR:	Regulamento Geral do Ruído.
RMS:	<i>Root Mean Square</i> (Valor Eficaz)
rpm:	Rotações por minuto.
RRAE:	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.
SILVIA:	<i>Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control.</i>
SRM:	<i>Standaard-Rekenmethode.</i>
TMH:	Tráfego Médio Horário.
TMH <sub>Dia</sub> :	Tráfego Médio Horário no período diurno.
TMH <sub>Entardecer</sub> :	Tráfego Médio Horário no período do entardecer.
TMH <sub>Noite</sub> :	Tráfego Médio Horário no período nocturno.
TNM:	<i>Traffic Noise Model.</i>
TNT:	Trinitrotolueno.
TS:	<i>Technical Specifications.</i>
UK:	<i>United Kingdom.</i>

USA:	<i>United States of America.</i>
VIM:	Vocabulário Internacional de Metrologia.
VRef.:	Vibração de Referência.
VRes.:	Vibração Resultante.

## A7. ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Atenuação de Barreira Acústica para Fonte Pontual.....	39
Quadro 2: Atenuação de Barreira Acústica para Fonte Linear .....	40
Quadro 3: Comprimento de Barreira Acústica suficientemente longa.....	41
Quadro 4: Diferença de Níveis Sonoros para velocidade média e Velocidade Contínua Equivalente .....	44
Quadro 5: Diferença de Níveis Sonoros para velocidade máxima legal e Velocidade Contínua Equivalente.....	45
Quadro 6: Correções para obtenção do Nível de Avaliação (NP ISO 1996-1) .....	47
Quadro 7: Classes de Vento (ISO 10847).....	52
Quadro 8: Classes de Nebulosidade (ISO 10847).....	53
Quadro 9: Diferentes eficácias para a mesma Barreira Acústica .....	56
Quadro 10: Tipos de períodos do dia para a latitude de 35° (NP ISO 1996-2) .....	61
Quadro 11: Condições de nebulosidade e de vento que garantem estabilidade meteorológica (NP ISO 1996-2).....	62
Quadro 12: $K_{T1}$ e $K_{T2}$ em função de $T_1/T$ .....	63
Quadro 13: Tipos de duração nos períodos globais típicos.....	64
Quadro 14: Nível Sonoro global devido à conjugação de 2 tipos de períodos .....	65
Quadro 15: Limites de Ruído Ambiente em vigor em 2008 na União Europeia (CIRCA) .....	74
Quadro 16: Valores estabelecidos no Guia para Ruído Nocturno na Europa .....	82
Quadro 17: Curva de limitação do Ruído de Baixa Frequência (UK) .....	87
Quadro 18: Valores mínimos que superam curva de limitação do Ruído de Baixa Frequência (Source dB) .....	88
Quadro 19: Coeficientes típicos de Absorção Sonora de materiais (EN 12354-6) .....	91
Quadro 20: Valores típicos de Área de Absorção Sonora Equivalente para objectos comuns (EN 12354-6).....	92
Quadro 21: Valores típicos de coeficientes de Absorção Sonora de conjuntos de objectos (EN 12354-6).....	92
Quadro 22: Coeficiente de Atenuação da Potência $m$ no ar (EN 12354-6).....	92
Quadro 23: Tempo de Reverberação previsto para Absorção Sonora regular e irregular .....	97
Quadro 24: Critérios de Vibração LNEC para a incomodidade.....	109
Quadro 25: Critérios de Vibração LNEC para danos em edifícios .....	109
Quadro 26: Valores limite com base nos Critérios de Vibração LNEC.....	109
Quadro 27: Resumo dos Critérios de Vibração USA .....	110
Quadro 28: Inconsistências do Critério de Incomodidade. ....	127
Quadro 29: Erros detectados no sistema de Ruído Ambiente Interior.....	136
Quadro 30: Resumo das sugestões de alteração dos Artigos 11.º e 13.º do DL 9/2007 .....	150
Quadro 31: Resumo da objectivação da qualificação de impactes para Ruído Ambiente Exterior .....	161
Quadro 32: Casos possíveis de comparação para 3 parâmetros de análise .....	164
Quadro 33: Sugestão de Regra de Boa Prática para limitação da Vibração Ambiente .....	172
Quadro 34: Resumo da objectivação da qualificação de impactes para Vibração Ambiente .....	173
Quadro 35: Informação tipo de emissão sonora de Aerogeradores .....	177
Quadro 36: Ruído Particular global para um conjunto de Aerogeradores .....	181
Quadro 37: Espectro teórico por Bandas de 1/3 de oitava com características tonais .....	196
Quadro 38: Espectro por Bandas de 1/1 de oitava associado ao Espectro do Quadro 37 .....	196
Quadro 39: Previsões por Bandas de 1/1 de oitava associadas ao Espectro do Quadro 38.....	197
Quadro 40: Atenuações por Bandas de 1/1 de oitava associadas às previsões do Quadro 39.....	197
Quadro 41: Atenuações por Bandas de 1/3 de oitava associadas às atenuações do Quadro 40 .....	198
Quadro 42: Níveis Sonoros resultantes da aplicação das atenuações do Quadro 41 .....	199
Quadro 43: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo radar e modelo NMPB'96.....	226
Quadro 44: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo Método e modelo NMPB'96.....	227
Quadro 45: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo radar e Modelo Harmonizado .....	227
Quadro 46: Contagem de tráfego com base na velocidade pelo Método e Modelo Harmonizado .....	228
Quadro 47: Valores obtidos para os desvios padrão na medição do ruído de comboios .....	234
Quadro 48: Comparação do Ruído Aéreo e Estrutural de Máquina de Percussão .....	245

Quadro 49: Velocidades de vibração e Factores de Atenuação obtidos <i>in situ</i> através de impulso .....	268
Quadro 50: Comparação das medições e das previsões de vibração no Local 1 .....	269
Quadro 51: Comparação das medições e das previsões de vibração no Local 2 .....	270
Quadro 52: Desvios entre as previsões e as medições de vibração para os valores globais .....	271

## A8. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração (perfil transversal) da diferença de caminhos $\Delta$ para Barreiras Acústicas .....	35
Figura 2: Atenuação de uma Barreira Acústica em função da frequência e da diferença de percursos $\Delta$ .....	36
Figura 3: Espectro normalizado de tráfego rodoviário da NMPB'96 .....	37
Figura 4: Espectros obtidos <i>in situ</i> para pavimento rodoviário liso e rugoso .....	38
Figura 5: Espectros para 10 mph e para 80 mph (USA TNM) .....	38
Figura 6: Espectros para veículos Ligeiros e Pesados (SILVIA) .....	39
Figura 7: Distribuições de probabilidade de base gaussiana para as velocidades de circulação .....	44
Figura 8: Mapas de Ruído transversais com (a) e sem (b) Barreira, para Condições Favoráveis .....	55
Figura 9: Mapas de Ruído transversais com (a) e sem (b) Barreira, para Condições Homogêneas .....	55
Figura 10: Apontamento fotográfico do local de medição contínua .....	68
Figura 11: Médias dos níveis sonoros obtidos durante 7 dias no mês de Agosto em 2005 .....	69
Figura 12: Médias dos níveis sonoros obtidos durante 7 dias no mês de Dezembro em 2010 .....	69
Figura 13: Apontamento fotográfico do local de medição, com o Sonómetro de Classe 1 e de Classe 2 .....	72
Figura 14: Diferença dos valores obtidos com Sonómetro de Classe 1 e de Classe 2 .....	73
Figura 15: Valores limite mais e menos exigentes, em vigor em 2008 na União Europeia (CIRCA) .....	76
Figura 16: Valores de $L_{Max}$ , a 5 m da via, para veículos Ligeiros, de acordo com NMPB'96 .....	84
Figura 17: Valores de $L_{Max}$ , a 5 m da via, para veículos Pesados, de acordo com NMPB'96 .....	85
Figura 18: Valores de $L_{Max}$ , a 5 m da via, para Comboios com 100 m de comprimento, de acordo com SRM I .....	85
Figura 19: Valores de $L_{Max}$ para os 10 Aviões mais ruidosos, de acordo com ECAC .....	86
Figura 20: Dimensões do compartimento rectangular regular segundo a EN 12354-6 .....	93
Figura 21: Relação entre os Isolamentos Normalizados e Padronizados, em função do volume .....	101
Figura 22: Relação entre os Isolamentos Normalizados e Padronizados, em função da área em planta .....	101
Figura 23: Relação entre os Níveis de Avaliação efectivos e Padronizados, em função do Tempo de Reverberação .....	102
Figura 24: Relação entre os Níveis de Avaliação efectivos e Padronizados, em função da área em planta .....	103
Figura 25: Relação entre a correcção Normalizada e a correcção Padronizada .....	105
Figura 26: Classificação da Magnitude do Impacte (Critérios IST) .....	133
Figura 27: Imagens de algumas das Fontes com Ruído de Baixa Frequência (Source dB) .....	154
Figura 28: Correcção Espectral típica para Aeroogeradores (Source dB) .....	177
Figura 29: Mapas de Ruído individuais usando o Princípio da Reciprocidade .....	179
Figura 30: Exemplo de Área de Permissão Acústica .....	180
Figura 31: Exemplo de localização de vários Aeroogeradores para análise integrada .....	181
Figura 32: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Indústrias; Fontes Pontuais) .....	185
Figura 33: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Indústrias; Fontes Pontuais) .....	185
Figura 34: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Rodovias; via recta muito longa) .....	186
Figura 35: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Rodovias; via recta muito longa) .....	186
Figura 36: Variação dos níveis sonoros com a distância (100 a 1000 m) à Fonte (Ferrovias; via recta muito longa) .....	187
Figura 37: Variação dos níveis sonoros com a distância (1000 a 10000 m) à Fonte (Ferrovias; via recta muito longa) .....	187
Figura 38: Correcção da velocidade para Rodovias .....	190
Figura 39: Correcção da velocidade para Ferrovias (20 a 150 km/h) .....	191
Figura 40: Correcção da velocidade para Ferrovias (150 a 300 km/h) .....	191
Figura 41: Variação de referência dos valores de $v_{max,ef,1s}$ com a distância à Linha Férrea (1 a 100 m) .....	194
Figura 42: Variação de referência dos valores de $v_{max,ef,1s}$ com a distância à Linha Férrea (100 a 1000 m) .....	195
Figura 43: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Indústrias .....	200
Figura 44: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Rodovias .....	200
Figura 45: Janela de entrada da aplicação informática de previsão expedita para Ferrovias .....	200
Figura 46: Janela de entrada da aplicação informática de previsão do Tempo de Reverberação .....	201
Figura 47: Variação dos níveis sonoros à passagem de veículo sobre junta de dilatação, em dB(A) e dB(C) .....	207

Figura 48: Apontamentos fotográficos: a) Sonómetro, b) radar e Fiesta, c) radar e C5, d) radar e FM12.....	207
Figura 49: Apontamento fotográfico da Junta 1 e sua localização geográfica.....	210
Figura 50: Apontamento fotográfico da Junta 2 e sua localização geográfica.....	210
Figura 51: Apontamento fotográfico da Junta 3 e sua localização geográfica.....	211
Figura 52: Níveis sonoros em função da massa de cada veículo [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 1).....	212
Figura 53: Níveis sonoros em função da velocidade de cada veículo [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 1).....	212
Figura 54: Níveis sonoros em função da velocidade do C5 [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 2).....	213
Figura 55: Níveis sonoros em função da velocidade do C5 [dB(A) à esquerda e dB(C) à direita] (Junta 3).....	214
Figura 56: Níveis sonoros nas 3 juntas de dilatação caracterizadas.....	214
Figura 57: Variação dos níveis sonoros a 50 km/h: à esquerda com junta e à direita sem junta.....	215
Figura 58: Variação dos níveis sonoros a 70 km/h: à esquerda com junta e à direita sem junta.....	216
Figura 59: Relações trigonométricas à passagem de um veículo por um ponto de medição.....	217
Figura 60: a) Variação teórica dos níveis sonoros normalizados à passagem de um veículo e sua b) linearização.....	218
Figura 61: Resultados experimentais obtidos: a) variação dos níveis sonoros efectivos e b) normalizados.....	219
Figura 62: Resultados experimentais obtidos: a) com buzina antes e b) com buzina aos 0 segundos.....	220
Figura 63: Distâncias utilizadas na contagem e medição de velocidade através de Sonómetros.....	222
Figura 64: Radar Bushnell.....	222
Figura 65: Valores obtidos no Sonómetro 1.....	223
Figura 66: Valores obtidos no Sonómetro 2.....	223
Figura 67: Passagem muito próxima de veículos.....	224
Figura 68: Resultados da medição 1 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios.....	231
Figura 69: Resultados da medição 2 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios.....	231
Figura 70: Resultados da medição 3 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios.....	232
Figura 71: Resultados da medição 4 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios.....	232
Figura 72: Resultados da medição 5 no Ponto 1 na monitorização do ruído de comboios.....	232
Figura 73: Resultados da medição 1 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios.....	233
Figura 74: Resultados da medição 2 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios.....	233
Figura 75: Resultados da medição 3 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios.....	233
Figura 76: Resultados da medição 4 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios.....	234
Figura 77: Resultados da medição 5 no Ponto 2 na monitorização do ruído de comboios.....	234
Figura 78: Resultados da medição 2 no Ponto 1, à esquerda (a), e da medição 5 no Ponto 2, à direita (b).....	237
Figura 79: Aspecto interior da Fonte Dodecaédrica desenvolvida.....	242
Figura 80: Máquina de Percussão, em situação normal (a) e com interposição localizada de material resiliente (b).....	243
Figura 81: Níveis sonoros medido no compartimento Emissor com e sem interposição de material resiliente.....	244
Figura 82: Isolamento $D$ a sons aéreos entre os compartimentos.....	245
Figura 83: Exemplo do uso de massa para a geração de um impulso de vibração.....	264
Figura 84: Exemplo de um Vibrómetro constituído por um acelerómetro e por um analisador de sinal.....	265
Figura 85: Ilustração fotográfica do Local 1 de medição de vibração.....	267
Figura 86: Ilustração fotográfica do Local 2 de medição de vibração.....	268
Figura 87: Espectro da velocidade de vibração dos comboios em $P_1$ (Local 1).....	270
Figura 88: Espectro da velocidade de vibração dos comboios em $P_1$ (Local 2).....	271
Figura 89: Gráfico de $Tg^{-1}(((l/2)+vt)/d)$ ( a azul) e de $Tg^{-1}(-((-l/2)+vt)/d)$ (a vermelho).....	285
Figura 90: Espectros teóricos de recurso.....	294
Figura 91: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Norte; Velocidade de 90 km/h).....	296
Figura 92: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Sul; Velocidade de 90 km/h).....	296
Figura 93: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Este; Velocidade de 90 km/h).....	297
Figura 94: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Oeste; Velocidade de 90 km/h).....	297
Figura 95: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Norte; Velocidade de 90 km/h).....	298

Figura 96: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Sul; Velocidade de 90 km/h) .....	298
Figura 97: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Este; Velocidade de 90 km/h) .....	299
Figura 98: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Oeste; Velocidade de 90 km/h) .....	299
Figura 99: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Norte; Velocidade de 120 km/h).....	300
Figura 100: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Sul; Velocidade de 120 km/h) .....	300
Figura 101: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Este; Velocidade de 120 km/h).....	301
Figura 102: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Brest e 52%) (Período Diurno; Sentido Oeste; Velocidade de 120 km/h).....	301
Figura 103: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Norte; Velocidade de 120 km/h) .....	302
Figura 104: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Sul; Velocidade de 120 km/h) .....	302
Figura 105: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Este; Velocidade de 120 km/h).....	303
Figura 106: Isolinhas para diferentes probabilidade de ocorrência de Condições Favoráveis (Pau, Dunkerque e 100%) (Período Nocturno; Sentido Oeste; Velocidade de 120 km/h) .....	303

## Referências

Todas as referências que possuem \* estão disponíveis em formato digital (pdf) no endereço: <http://doutoramento.schiu.com/> [e1]. Neste mesmo endereço está também disponível uma versão integral pdf do presente trabalho, assim como excertos individuais, associados aos resumos efectuados relativamente ao métodos tratados.

- \*[1] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) – *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*. Version 2, 2007.
- \*[2] Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping – *Final Report. Part A*. European Commission DG Environment, 2003.
- \*[3] Agência Portuguesa do Ambiente – *Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído. Versão 2*. Junho de 2008.
- [4] NF S31-133 – *Acoustique. Bruit des infrastructures de transports terrestres. Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques*. 2007.
- [5] NP ISO 1996-1 – *Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação..* 2011. (ISO 1996-1: 2003)
- [6] NP ISO 1996-2 – *Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente*. 2011. (ISO 1996: 2007)
- [7] NP 1730-1 – *Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1. Grandezas Fundamentais e Procedimentos*. 1996. (ISO 1996-1: 1982).
- [8] NP 1730-2 – *Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 2. Recolha de dados relevantes para o uso do solo*. 1996. (ISO 1996-1: 1987).
- [9] NP 1730-3 – *Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 3. Aplicação aos limites do ruído*. 1996. (ISO 1996-1: 1987).
- \*[10] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.
- [11] ISO 10847 – *Acoustics: In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types*. 1997.
- \*[12] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho. (Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho).

- \*[13] Moorhouse, Andy; Waddington, David; Adams, Mags – *Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance*. University of Salford, 2005.
- [14] EN 12354-6 – *Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 6: Sound absorption in enclosed spaces*. 2003.
- [15] Martins da Silva, Pedro – *Acústica de Edifícios*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 8.<sup>a</sup> Ed. 2004. ISBN 972-49-0013-4.
- [16] Patrício, Jorge – *Acústicas nos Edifícios*. Verlag Dashöfer, 2007. ISBN 978-8906-55-9.
- \*[17] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio.
- \*[18] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho.
- \*[19] Suhairy, Sinan al - *Prediction of ground vibration from railways*, Swedish National Testing and Research Institute, 2000.
- \*[20] Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge – *Vibrações Ambientais – Critérios de danos e de incomodidade. Actualidade e perspectivas futuras*. TecniAcustica 2001, La Rioja. [Contém os denominados Critérios de Vibração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)].
- \*[21] Federal Transit Administration, United States of America – *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*. 2006.
- \*[22] Instituto Português de Acreditação (IPAC) – *Circular Clientes n.º2/2007. Critérios de acreditação transitórios relativos a representatividade das amostragens de acordo com o Decreto-Lei n.º 9/2007*. 2007.
- \*[23] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – *Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Avaliação acústica*. Versão 2-04-2009. (<http://www.lnec.pt/servicos/criterios-amostragem-acustica.pdf>).
- [24] EN ISO 11819-1 – *Acoustics: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise: Part 1: Statistical Pass-By method*. 2001. (ISO 11819-1: 1997)
- [25] ISO/TR 140-13 – *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 13: Guidelines*. 1997.
- [26] ISO 140-14 – *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 14: Guidelines for special situations in the field*. 2004.
- \*[27] Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L189 (18-07-2002), Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho.

- [28] NP 4361-2 – *Acústica: Atenuação do som na sua propagação ao ar livre: Parte 2: Método geral de cálculo*. 2001. (ISO 9613-2:1996).
- \*[29] *Road noise prediction. 2- Noise propagation computation method including meteorological effects (NMPB 2008)*. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra). 2009.
- \*[30] Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping - *Calculation and measurement guidelines for rail transport noise*. 1996. European Commission DG Environment, 2003. (Tradução para Inglês do método SRMII).
- \*[31] European Civil Aviation Conference (ECAC.CEAC Doc. 29) – *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports. Volume 1: Applications Guide*. 3.<sup>a</sup> Ed., 2005.
- \*[32] European Civil Aviation Conference (ECAC.CEAC Doc. 29) – *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports. Volume 2: Technical Guide*. 3.<sup>a</sup> Ed., 2005.
- [33] NP EN ISO 3744 – *Acústica: Determinação dos níveis de potência acústica emitidos pelas fontes de ruído a partir da pressão acústica Método de perícia em condições que se aproximam do campo livre sobre um plano reflector*. 1999. (ISO 3744: 1994).
- \*[34] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho.
- \*[35] Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.
- \*[36] Diário da República Portuguesa, Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março.
- \*[37] Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.
- \*[38] Agência Portuguesa do Ambiente – *Nota técnica para avaliação do descritor Ruído em AIA. Versão 2*. Junho 2010.
- \*[39] Bento Coelho, J. L.; Ferreira, António José – *Critérios para análise de relações exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte*. Instituto Superior Técnico. Dezembro de 2009.
- \*[40] Diário da República Portuguesa, Decreto Legislativo Regional n.º 23/2010/A (Açores), de 30 de Junho.
- \*[41] Rosão, Vitor; Antunes, Sónia – *Limitações e Opções Alternativas da Modelação na Componente Ruído*. Castelo Branco, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes, CNAI 2006.

- [42] Stelle, C. – *A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models*. Appl. Acoust. 62, 271–287, 2001.
- \*[43] Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment (IMAGINE) – *State of the Art*. 2004.
- \*[44] Neto, Maria de Fátima; Rosão, Vitor – *Influence of Spectral Emission on the Dimension of Acoustical Barriers*. Rio de Janeiro, Internoise 2005.
- \*[45] Rosão, Vitor; Neto, Maria de Fátima – *Influence of traffic noise emission spectra on the design of barriers*. Noise Control Eng. J. 55 (3), 2007 May-June.
- [46] Ministère de l’Environnement et du Cadre de Vie; Ministère des Transports; CETUR – *Guide du Bruit des Transports Terrestres: Prévission des Niveaux Sonores*. 1980.
- \*[47] Rosão, Vitor – *Desenvolvimento de Modelo de Avaliação de Impacte Ambiental devido ao Ruído de Tráfego Rodoviário*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Dissertação de Mestrado em Engenharia Física. 2002.
- \*[48] Hazyóva, Lucia; Rosão, Vitor; Eusébio Conceição – *Implantation of noise barriers in portuguese landscape*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[49] Hazyóva, Lucia; Rosão, Vitor; Eusébio Conceição – *Inserção de Barreiras Acústicas na Paisagem Portuguesa*. Vila Real, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes, CNAI 2010.
- \*[50] Pilton, A.; Collins, G.; Chapman, R.; Gross, N. – *Noise Wall Design Guideline, Design guidelines to improve the appearance of noise walls in NSW*. RTA Environmental Noise Management Manual, November 2006.
- \*[51] *Guidelines on Design of Noise Barriers*, Environmental Protection Department, Highways Department Government of the Hong Kong SAR Second Issue, January 2003.
- [52] Murteira, Bento José Ferreira – *Probabilidades e Estatística. Volume I*. 2.<sup>a</sup> Ed. McGraw-Hill, 1990. ISN 972-9241-17-1.
- \*[53] Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de Fevereiro.
- \*[54] Braga, Margarida; Rosão, Vitor – *A Insustentável Leveza do Ruído*. Castelo Branco, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes, CNAI 2006.
- [55] Tohyama, Mikio; Koike, Tsinehiko – *Fundamentals of Acoustic Signal Processing*. Academic Press, 1998.
- \*[56] *Draft JRC Reference Report1 on Common NOise ASSEssment MethOdS in EU (CNOSSOS-EU)*. 3.<sup>a</sup> Versão, Novembro de 2010.

- \*[57] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Rosão, Carlos – *More than one insertion loss, throughout the day, for the same outdoor noise barrier*. Rio de Janeiro, ICSV 2011.
- [58] ISO 14837-1 – *Mechanical vibration. Ground-borne noise and vibration arising from rail Systems. Part 1. General guidance*. 2005.
- \*[59] Instituto do Ambiente – *Procedimentos específicos de medição de ruído ambiente*. 2003.
- \*[60] Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment - *Determination of Lden and Lnight using measurements*. 2006. (<http://www.imagine-project.org/>).
- \*[61] Antunes, Sónia; Rosão, Vitor; Falcão, Ana – *Representatividade das Medições em Acústica Ambiental*. Coimbra, Acústica 2008.
- [62] Silva, Rui – *Contributo para o desenvolvimento de um sistema de monitorização em contínuo de ruído de tráfego rodoviário*. Trabalho de fim de curso em Engenharia do Ambiente, UALG, 2006.
- \*[63] Lourenço, Jorge; Dantas, João; Tavares, Luis – *Caracterização Acústica de Portimão e Praia da Rocha*. CCDR Algarve, 2000.
- [64] SCHIU/Câmara Municipal de Tavira – *Mapa de Ruído do Plano de Urbanização de St.ª Luzia*. 2005.
- [65] IEC 61672-1 – *Electroacoustics. Sound level meters. Part 1. Specifications*. 2002.
- \*[66] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Marques, Teresa; Leonardo, Rui – *Em Busca dos Melhores Limites Legais de Ruído Ambiente*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[67] Patrício, Jorge – *Estado de implementação da regulamentação acústica de edifícios em Portugal*. Terrassa, Tecniacústica 2005.
- \*[68] European Commission. Research Directorate-General – *Research for a Quieter Europe in 2020*. 2007. [http://www.calm-network.com/SP\\_2020\\_final07.pdf](http://www.calm-network.com/SP_2020_final07.pdf).
- \*[69] Organização Mundial de Saúde - *Night noise guidelines for europe*. 2009.
- \*[70] Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L84 (26-03-2008), Decisão da Comissão n.º 2008/232/CE, de 21 de Fevereiro.
- [71] ISO 7196 – *Acoustics. Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements*. 1995.
- [72] EN 12354-1 – *Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms*. 2000.

- [73] EN 12354-2 – *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms.* 2000.
- [74] EN 12354-3 – *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.* 2000.
- [75] EN 12354-5 – *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements. Part 5: Sounds levels due to the service equipment.* 2009.
- [76] EN 12354-4 – *Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 4: Transmission of indoor sound to the outside.* 2000.
- [77] ISO 3382-1 – *Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance Spaces.* 2009.
- [78] NP EN ISO 140-4 – *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.* 2000. (ISO 140-4: 1998)
- [79] NP EN ISO 140-5 – *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada.* 2.<sup>a</sup> Ed., 2009. (ISO 140-5: 1998)
- [80] NP EN ISO 140-7 – *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.* 2008. (ISO 140-7: 1998)
- [81] NP EN ISO 140-7 – *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão. Errata 1.* 2010.
- [82] NP EN ISO 16032 – *Acústica. Medição do nível de pressão sonora de equipamentos de serviço em edifícios. Método de Engenharia.* 2009. (ISO 16032:2004)
- [83] NP EN ISO 3382-2 – *Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.* 2011. (ISO 3382-2: 2008)
- \*[84] Arrêté du 30 juin 1999: équipement, transports et logement relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation.
- \*[85] Office of Deputy Prime Minister – *The Building Regulations 2000. Resistance to the passage of sound.* Amendments 2004.
- [86] Pierce, Allan D. – *Acoustics. An introduction to its physical principles and applications.* Acoustical Society of America, 1989. ISBN 0-88318-612-8.

- [87] Domingues, Odete – *A Acústica nos Edifícios: Materiais e Sistemas Absorventes Sonoros*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006
- [88] NP 4361-1 – *Acústica: Atenuação do som na sua propagação ao ar livre: Parte 1: Cálculo da absorção atmosférica*. 1997. (ISO 9613-1: 1993).
- \*[89] Prodi, Nicola; Visenti, Chiara; Farnetani, Andrea – *How absorption and scattering affect reverberation time: studies on a scale model of a classroom*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[90] Anderson, Nils-Ake; Nilsson, Erling. Reykjavik, Iceland, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2008.
- \*[91] Kylliäinen, Mikko; Nilsson, Erling; Chigot, Pierre – *Effectiveness of EN 12354-6 and other calculation methods of room acoustics in ensuring required acoustic conditions in typical enclosed spaces*. Tampere, Finland, Euronoise 2006.
- \*[92] Kang, Jian; Neubauer, Reinhard O. – *Prediction Reverberation Time: Comparison between Analytic Formulae and Computer Simulation*. Roma, ICA 2011.
- \*[93] Mateus, Diogo – *Influência do ruído aéreo gerado pela percussão de pavimentos na determinação de  $L'n,w$* . 1.ª Conferência Nacional “Medir Mais e Melhor”, 2005.
- \*[94] Park, Hyeon Ku; Kim, Yul; Song, Guk Gon; Kim, Sum-Woo – *Verification of standard floor impact source by comparing with living impact source*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[95] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Grimm, Christiane – *Consequências da Utilização de Parâmetros Padronizados nas Alterações do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[96] Lages, Clotilde; Tomaz, Rodrigo; Santos, Luis Conde – *Impacte do novo DL 96/2008 nas condições acústicas da construção em Portugal*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[97] Rosão, Vitor; Rodrigues, C. César; Conceição, Eusébio – *Performing railway traffic vibration forecast using in situ vibration measurements*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[98] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Marques, Teresa – *A especial sensibilidade das Escolas ao Ruído Ambiente Exterior*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[99] Diário da República Portuguesa. Portaria n.º 457/83, de 19 de Abril.
- [100] NP 2074 – *Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares*. 1983.
- \*[101] Bernardo, Pedro; Dinis da Gama, Carlos – *Sugestões para melhoria da norma portuguesa de controle de vibrações em construções*. Instituto Superior Técnico, 2006.

- \*[102] Jornal Oficial União Europeia, L212 (22-08-2003), Recomendação da Comissão 2003/613/CE, de 6 de Agosto de 2003.
- [103] Leonardo, Rui – *Limitações e perspectivas de evolução dos modelos actuais de previsão do ruído de tráfego rodoviário*. Trabalho de fim de curso em Engenharia do Ambiente, UALG, 2007.
- \*[104] NT ACOU 104 – *Ground Surfaces: Determination of acoustic impedance*. 1999.
- \*[105] Leonardo, Rui; Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio – *Porquê e Como considerar o ruído das juntas de dilatação nos processos de monitorização de rodovias*. Vila Real, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes, CNAI 2010.
- [106] Pereira, Soraia – *Procedimento da medição in situ do nível sonoro máximo à passagem de veículos rodoviários*. Trabalho de fim de curso em Engenharia do Ambiente, UALG, 2007.
- \*[107] Rosão, Vitor, Conceição, Eusébio; Házyóvá, Lucia – *Method to determine the speed of vehicles by means of noise levels variation*. 34<sup>th</sup> International Acoustical Conference - EAA Symposium, Hight Tratas 2009.
- \*[108] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Házyóvá, Lucia – *Method to Determine the Speed of Vehicles by Means of Noise Levels Variation*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[109] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Marques, Teresa – *Variability of Noise Levels from Railways*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[110] Rosão, Vitor; Abreu, Liliano; Conceição, Eusébio – *Especificidades da Monitorização do Ruído de Tráfego Ferroviário*. Vila Real, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes, CNAI 2010.
- \*[111] Berglund, Birgitta; Lindvall, Thomas; Schwela, Dietrich H. – *Guidelines for Community Noise*. Organização Mundial de Saúde (WHO). 1999.
- [112] Hygge, Staffan; Evans, Gary W.; Bullinger, Monika – *A Prospective Study of Some Effects Of Aircraft Noise On Cognitive Performance In Schoolchildren*. Psychological Science, Vol. 13, No. 5, September 2002.
- \*[113] Matheson, M. P.; Stansfeld, S. A.; Haines, M M. – *The Effects of Chronic Aircraft Noise Exposure on Children's Cognition and Health: 3 Field Studies*. Noise & Health 2003, 5; 19, 31-40.
- \*[114] Matsui, T. et al. – *Children's Cognition and Aircraft Noise Exposure at Home: The West London Schools Study*. Noise & Health 2004, 7; 25, 49-58.

- \*[115] Nunes, Maria Fernanda de Oliveira; Sattler, Miguel Aloysio – *Percepção do Ruído Aeronáutico em Escolas da Zona I do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho*. ENGEVISTA, v. 6, n.3, p. 5-24, Dezembro 2004.
- \*[116] Jarup, Lars et al. – *Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): Study Design and Noise Exposure Assessment*. Environmental Health Perspectives. Vol. 113, n.º 11, November 2005.
- \*[117] Stansfeld, S. A. et al. – *Aircraft and road traffic noise and children’s cognition and health: a cross-national study*. www.thelancet.com Vol 365 June 4, 2005.
- \*[118] Clark, Charlotte et al. – *Exposure-Effect Relations between Aircraft and Road Traffic Noise Exposure at School and Reading Comprehension*. American Journal of Epidemiology. Vol. 163, n.º. 1, November 23, 2005.
- \*[119] Kempen, E van et al. – *Noise Exposure and Children’s blood pressure and heart rate*. Occupational and Environmental Medicine, 2006; 63:632-639.
- [120] Öhrström, Evy et al. – *Effects of road traffic noise on sleep: Studies on children and adults*. Journal of Environmental Psychology 26 (2006) 116–126.
- \*[121] Haralabidis, Alexandros S. et al. – *Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports*. European Heart Journal. February 12, 2008.
- \*[122] Perez, Ana Teresa; Leite, Maria João; Guedes, Margarida; Bernardo, Fernanda - *O novo quadro legal do ruído ambiente Sessões destinadas às câmaras municipais, entidades fiscalizadoras, infra-estruturas de transporte e actividades ruidosas permanente*. Instituto do Ambiente, 2007.
- \*[123] Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise – *Final Technical Report*. 2005.
- \*[124] Epsilon Associates, Inc; NextEra Energy Resources, LLC. - *A Study of Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbines*. 2009.
- \*[125] Bel Acoustic Consulting; Energy Efficiency and Conservation Authority - *Low frequency noise and infrasound from wind turbine generators: A literature review*. 2004.
- \*[126] Punch, Jerry; James, Richard; Pabst, Dan – *Wind Turbine Noise. What Audiologists Should Know*. Audiology Today. Julho/Agosto 2010.
- \*[127] Diário da Republica Portuguesa, Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro.
- \*[128] Diário da Republica Portuguesa, Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril.

- \*[129] Rosão, Vitor – *Análise Comparativa de Alternativas na Componente Acústica do Ambiente*. Aveiro, Conferência Nacional de Avaliação de Impactes. 2004.
- \*[130] Fafaiol, Carlos A.; Lopes, Luís P. Santos; Domingues, Odete – *Contribution for the evaluation of the calculation method figured on EN 12354-2:2000 for the situations in which the emission room is subjacent to the reception room*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[131] Diário da Republica Portuguesa, Portaria n.º 232/2008, de 11 de Março.
- \*[132] Diário da República Portuguesa. Portaria n.º 977/2009, de 1 de Setembro.
- \*[133] Instituto Português de Qualidade (IPQ) – *Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)*. 3.<sup>a</sup> Ed., 2008. ISBN 972-763-00-6.
- [134] NP 4476 – *Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*. 2008. (ISO/TS 15666: 2003).
- \*[135] Babisch, Wolfgang – *Transportation Noise and Cardiovascular Risk*. Federal Environmental Agency (Alemanha), 2006.
- \*[136] European Communities – *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*. 2002.
- [137] NP ISO 2631-1 – *Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1. Requisitos Gerais*. 2007 (ISO 2631-1: 1997).
- [138] ISO 2631-2 – *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2. Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003.
- \*[139] Gonçalves, Gideon Marinho – *O Paradoxo da Produtividade. O Uso de Tecnologia da Informação pelas Empresas*. 2005.
- \*[140] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio; Leonardo, Rui; Rosão, Carlos – *Determinação Expedita da Área de Influência Acústica de Infra-Estruturas de Transporte Rodoviário*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[141] Rosão, Vitor; Rosão, Carlos; Conceição, Eusébio – *Fast Determination of the Acoustic Area of Influence of Roads, Railways, Airports and Industries*. Lisboa, Internoise 2010.
- \*[142] van den Berg, G.P. – *Effects of the wind profile at night on wind turbine sound*. Journal of Sound and Vibration 277 (2004) 955–970.
- \*[143] Alarcão, Diogo; Coelho, J.L. Bento – *Modelação de Ruído de Tráfego Ferroviário*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[144] van Vliet, W. J. A.; Hooghwerff, J.; Booij, N.; Van Loon, R. – *Road traffic noise of expansion joints. Get a grip on it*. Rotterdam, International Conference on Acoustics, 2009.

- \*[145] Directorate-General for Public Works and Water Management, Civil Engineering Division (Holanda) – *Guidelines for noise requirements for expansion joints. Calculations, measurements and testing*. 2006.
- \*[146] Ancich, Eric J. – *Engineering Methods of Noise Control for Modular Bridge Expansion Joints*. Acoustics Austrália, Vol. 32 December (2004).
- \*[147] H. Jonasson et al. – *Source modeling of road vehicles*, EU-FP5 project “HARMONOISE” deliverable report n°D09 (VAR11TR-041210-SP10), SP, 2004.
- [148] ISO 10843 – *Acoustics, Methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses*. 1997.
- [149] ISO 13474 – *Acoustics. Framework for calculating a distribution of sound exposure levels for impulsive sound events for the purposes of environmental noise assessment*. 2009.
- \*[150] Seoane, Manuel A. Sobreira; Molaes, Alfonso Rodríguez – *Clasificación automática de fuentes de ruido de tráfico*. Coimbra, Acústica 2008.
- \*[151] Bugalho, M.; Portêlo, J.; Trancoso, I.; Pellegrini, T.; Abad, A. – *Detecting Audio Events for Semantic Video Search*. Brighton UK, Interspeech 2009.
- [152] Cruz, António – *Incerteza de Medição. Introdução ao Conceito*. Instituto Português da Qualidade, 2005. ISBN 972-763-084-7.
- [153] Taylor, John R. – *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books, 1997.
- [154] Cabrita, Ana Rita; Correia, Sandra – *Desenvolvimento de um procedimento de medição in situ para determinação do nível de potência sonora e sua aplicação a duas fontes sonoras dodecaédricas*. Trabalho de fim de curso em Engenharia do Ambiente, UALG, 2007.
- \*[155] Rosão, Vitor; Cabrita, Ana Rita; Correia, Sandra – *Determinação da directividade de fonte sonora dodecaédrica*. Faro, 1.ª Conferência sobre Edifícios Eficientes, 2008.
- [156] Crocker, Malcolm J. – *Handbook of Acoustics*. Wiley Interscience, 1998. ISBN 0-471-25293-X.
- [157] Beranek, Leo – *Noise and Vibration Control*. McGraw-Hill, 1971. ISBN 07-004841-X.
- \*[158] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio – *Cálculo prospectivo de isolamentos sonoros de novos edifícios por recurso a medições in situ em edifício similares*. Faro, 1.ª Conferência sobre Edifícios Eficientes, 2008.
- \*[159] Rosão, Vitor – *Resolução de Sistema de Equações Lineares associado à propagação sonora no exterior e exemplos de aplicações práticas*. Guimarães, Acústica 2004.

- [160] Martinho, Eduardo J.C.; Oliveira, J. da Costa; Fortes, M. Amaral – *Matemática para o Estudo da Física*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.
- [161] Kreyszig, E. – *Advanced Engineering Mathematics*. 8.<sup>a</sup> Ed., John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [162] EN ISO 3740 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources: Guidelines for the use of basic standards*. 2000. (ISO 3740: 2000)
- [163] EN ISO 3741 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Precision methods for reverberation rooms*. 2010. (ISO 3741: 2010)
- [164] EN ISO 3743-1 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources: Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields: Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms*. 2010. (ISO 3743-1: 2010)
- [165] EN ISO 3743-2 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields: Part 2: Methods for special reverberation test rooms*. 2009. (ISO 3743-2: 1994)
- [166] EN ISO 3745 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms*. 2009. (ISO 3745: 2003).
- [167] EN ISO 3746 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*. 2009. (ISO 3745: 1995)
- [168] EN ISO 3747 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Comparison method in situ*. 2009. (ISO 3747: 2000)
- [169] ISO 8297 – *Acoustics. Determination of sound power levels of multsource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment. Engineering method*. 1994.
- [170] EN ISO 9614-1 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity: Part 1: Measurement at discrete points*. 2009. (ISO 9614-1: 1993)
- [171] EN ISO 9614-2 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity: Part 2: Measurement by scanning*. 1996. (ISO 9614-2: 1996).
- [172] EN ISO 9614-3 – *Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity: Part 3: Precision method for measurement by scanning*. 2009. (ISO 9614-3: 2002)
- [173] NP EN ISO 354 – *Acústica. Medição da absorção sonora em câmara reverberante*. 2007. (ISO 354: 2003)

- [174] EN ISO 11821 – *Acoustics: Measurement of the in situ sound attenuation of a removable screen*. 1997. (ISO 11821: 1997)
- [175] ISO 13472-1 – *Acoustics: Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ: Part 1: Extended surface method*. 2002.
- [176] ISO 17497-1 – *Acoustics: Sound-scattering properties of surfaces: Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room*. 2004.
- [177] NP EN 1793-1 – *Dispositivos de redução do ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinação do desempenho acústico. Parte 1: Características intrínsecas da absorção sonora*. 2008. (EN 1793-1: 1997)
- [178] NP EN 1793-2 – *Dispositivos de redução do ruído de tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinação do desempenho acústico. Parte 2: Características intrínsecas do isolamento a sons aéreos*. 2008. (EN 1793-2: 1997)
- [179] NP EN 1793-3 – *Dispositivos de redução do ruído do tráfego rodoviário. Método de ensaio para determinação do desempenho acústico. Parte 3: Espectro normalizado do ruído de tráfego*. 2008. (EN 1793-3: 1997).
- [180] CEN/TS 1793-4 – *Road traffic noise reducing devices: Test method for determining the acoustic performance: Part 4: Intrinsic characteristics: In situ values of sound diffraction*. 2003.
- [181] CEN/TS 1793-5 – *Road traffic noise reducing devices: Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics: In situ values of sound reflection and airborne sound insulation*. 2003.
- [182] Spiegel, Murray R. – *Manual de Fórmulas, Método e Tabelas de Matemática*. McGraw-Hill, 2.<sup>a</sup> Ed. 1992.
- [183] Morfey, Christopher L. – *Dictionary of Acoustics*. Academic Press, 2001. ISBN 0-12-506940-5.

## Referências de *sites*

Todos os *sites* foram acedidos novamente em Setembro de 2011, para confirmação dos conteúdos em causa, o que foi confirmado na totalidade dos *sites*.

- [e1] <http://doutoramento.schiu.com/>.
- [e2] <http://www.imagine-project.org/>.
- [e3] <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/noisedir/library>.
- [e4] <http://www.trl.co.uk/silvia/index.htm>.
- [e5] [http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic\\_noise\\_model/old\\_versions/tnm\\_version\\_10/tech\\_manual/tnm00.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/old_versions/tnm_version_10/tech_manual/tnm00.cfm)
- [e6] [http://circa.europa.eu/Public/irc/env/d\\_2002\\_49/library](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/d_2002_49/library).
- [e7] <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbhr>.
- [e8] [http://www.wolfson.qmul.ac.uk/RANCH\\_Project/](http://www.wolfson.qmul.ac.uk/RANCH_Project/).
- [e9] <http://www.hyena.eu.com/>.
- [e10] <http://windconcernsontario.wordpress.com/2010/01/16/expert-scientist-wind-turbines-produce-worrisome-low-frequency-noise-usa-and-uk/>.
- [e11] <http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais/>.
- [e12] [http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=continente&grupo=&tema=c\\_humrelativa](http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=continente&grupo=&tema=c_humrelativa).
- [e13] <http://php.net/>.
- [e14] <http://www.mysql.com/>.
- [e15] <http://en.wikipedia.org/wiki/HTML>.
- [e16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Java\\_Script](http://en.wikipedia.org/wiki/Java_Script).
- [e17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cascading\\_Style\\_Sheets](http://en.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets).
- [e18] <http://netbeans.org/>.
- [e19] <http://www.agom.it/>.
- [e20] <http://www.mageba.ch/>.
- [e21] <http://www.maurer-soehne.com/>.
- [e22] <http://www.iso.org>.
- [e23] <http://www.cen.eu>.
- [e24] <http://www.ipq.pt>.
- [e25] <http://www.nordicinnovation.org/>
- [e26] <http://www.sosmath.com/tables/integral/integ3/integ3.html>.
- [e27] <http://www.datakustik.com/en/navitop/home/>.