



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2009

**JOSÉ RUI AMORIM  
DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO EMITIDO POR  
VEÍCULOS RODOVIÁRIOS NUM TROÇO DA  
EN109 EM VAGOS**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2009

**JOSÉ RUI AMORIM  
DA SILVA**

## **CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO EMITIDO POR VEÍCULOS RODOVIÁRIOS NUM TROÇO DA EN109 EM VAGOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Velosa, Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João de Lemos Pinto  
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof<sup>ª</sup>. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Gostaria de expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas que possibilitaram a realização deste trabalho, principalmente:

À Prof. Doutora Ana Luísa Velosa, orientadora desta dissertação, por todo o interesse demonstrado no acompanhamento do trabalho que fui desenvolvendo, por todos os enriquecedores esclarecimentos, sugestões e correcções e por toda a disponibilidade prestada ao longo deste ano.

Ao meu co-orientador Prof. Doutor João Lemos Pinto, por ter disponibilizado o seu precioso tempo e conhecimentos de forma incondicional.

À CERTIFER, Lda. e em particular ao Eng. Paulo Rocha, por ter disponibilizado o equipamento da empresa, sem o qual não seria possível a realização do presente trabalho.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro que contribuíram para a minha formação.

Aos meus colegas e amigos.

Por fim agradeço aos meus pais e à minha irmã, por todo o apoio, motivação e investimento na minha formação, e a minha namorada Licínia Faria, por toda a compreensão, paciência, força e incentivo para que conseguisse alcançar os meus objectivos.

## palavras-chave

ruído urbano; ruído de tráfego; medições de ruído; tráfego rodoviário.

## resumo

Nesta tese estudaram-se as emissões de ruído num troço da EN109 que atravessa a vila de Vagos. Para tal, foram inicialmente realizadas medições contínuas durante 48 horas em dois locais com situações de tráfego distintas, que permitiram analisar as variações do ruído ao longo do dia.

A partir dos dados destas medições, identificaram-se os níveis de ruído mais frequentes, num intervalo de 5 dB(A), com os quais se determinaram os espectros de frequência característicos dos locais de medição.

Posteriormente calcularam-se os indicadores  $L_{den}$ ,  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ , determinando que erros são cometidos, quando o cálculo é feito com base em medições que só abrangem parte dos respectivos períodos de referência.

Para determinar como variam os níveis de ruído emitidos pelas várias categorias de veículos, realizaram-se novas medições em cinco locais com diferentes condições de circulação, utilizando um método tipo SPB (*Statistical Pass-By*), que permitiu associar níveis de ruído à passagem de veículos. Esses níveis são analisados em intervalos de 5 dB(A), nos quais se determinou um espectro de frequências médio.

Compararam-se os espectros de frequência entre os diferentes pontos de medição, tendo-se verificado em que bandas de 1/3 de oitava se dão as diminuições dos níveis de ruído registadas. Por fim, compararam-se os espectros médios obtidos nas medições de 48 horas com o das medições a veículos isolados.

**keywords**

urban noise; traffic noise; noise measurements; road traffic.

**abstract**

In this thesis, the emission of noise on a stretch of the EN109 road which runs through the town of Vagos was studied. For this purpose, continuous measurements, during 48 hours at two locations with different traffic situations, were first carried out, subsequently allowing the analysis of the variations of noise throughout the day.

From the data gathered by these measurements, the most frequent noise levels were identified, in a range of 5 dB (A), and the latter determined the frequency spectrum characteristic of the measuring points.

Afterwards, the Lden, Ld, Le and Ln were calculated, determining which mistakes may be made when the calculation is based on measurements that only cover part of the respective reference periods.

In order to determine how the levels of noise emitted by the various categories of vehicles varied, new measurements were conducted at five sites with different traffic conditions, using a SPB (Statistical Pass-By) method which made possible the association between the levels of noise and the passage of vehicles. These levels were reviewed at intervals of 5 dB (A), in which an average frequencies spectrum was determined.

The frequency spectrum between different points of measurement was compared and it was also verified in which 1/3 octave bands it was possible to find a reduction in the noise levels.

Finally, a comparison was drawn between the frequency spectrum obtained in measurements of 48 hours and the frequency spectrum of noise levels emitted by single light vehicles.

---

# ÍNDICE GERAL

## Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Considerações iniciais .....	1
1.2 – Objectivos e metodologias .....	2
1.3 – Organização da tese .....	3

## Capítulo 2 – Bases da acústica

2.1 – Considerações gerais .....	5
2.2 – Natureza do som .....	5
2.3 – Análise do som .....	7
2.3.1 – Níveis de pressão sonora .....	7
2.3.2 – Frequências .....	8
2.3.3 – Malhas de ponderação .....	9
2.3.4 – Potência e intensidade sonora .....	10
2.3.5 – Atenuação do ruído .....	11
2.3.6 – Adição e média de níveis sonoros .....	13
2.3.7 – Nível sonoro contínuo equivalente, Leq .....	14

## Capítulo 3 – Modelos preditivos e medições *in situ* do ruído de tráfego

3.1 – Considerações gerais .....	17
3.2 – Mapas de ruído .....	18
3.2.1 – Modelos de cálculo .....	19
3.2.1.1 – Fontes de ruído urbano .....	20
3.2.1.2 – Dados de entrada para aplicação dos modelos .....	21
3.2.1.3 – Validação dos modelos .....	22
3.2.2 – O modelo HARMONOISE/IMAGINE para o ruído rodoviário .....	23
3.2.2.1 – Categorias de veículos .....	23
3.2.2.2 – Fontes de ruído predominantes no tráfego rodoviário urbano .....	24
3.2.2.3 – Parâmetros das fontes de ruído analisadas pelo modelo HARMONOISE/IMAGINE .....	26
3.2.2.3.1 – Descrição da fonte de ruído .....	26
3.2.2.3.2 – Factores de correcção .....	27

---

3.2.3 – Medições <i>in situ</i> .....	28
3.2.3.1 – Métodos de medição .....	28
3.2.3.2 – Documentos de referência para a determinação dos indicadores de ruído com base em medições .....	30
3.3 – Medição dos sons .....	31
3.3.1 – Classes de sonómetros .....	32
3.3.2 – Funcionamento do sonómetro .....	32
3.3.3 – Procedimentos de medição: Regras básicas .....	34
<b>Capítulo 4 – Metodologias de medição e caracterização do espaço envolvente</b>	
4.1 – Considerações gerais .....	35
4.2 – Caracterização geral da zona em estudo .....	35
4.3 – Equipamento de medição .....	36
4.4 – Metodologias de medição .....	37
4.4.1 – Medições de longa duração .....	37
4.4.2 – Medições com identificação dos veículos .....	38
4.4.2.1 – Procedimentos de medição .....	39
4.4.2.2 – Tratamento dos dados .....	41
4.4.2.2.1 – Erros de sincronização .....	43
4.4.2.2.2 – Classificação dos veículos em termos de proximidade relativamente a outros .....	43
4.4.2.2.2.1 – Veículos isolados .....	44
4.4.2.2.2.2 – Veículos próximos .....	45
4.4.2.2.2.3 – Veículos não considerados para estudo .....	46
4.5 – Selecção e caracterização dos pontos de medição .....	47
4.5.1 – Critério de selecção .....	47
4.5.2 – Pontos de medição PI, P1 e P2 .....	48
4.5.3 – Pontos de medição PII, PIII, e P3 .....	49
4.5.4 – Ponto de medição P4 .....	50
4.5.5 – Ponto de medição P5 .....	51
4.5.6 – Características do pavimento .....	52

---

## **Capítulo 5 – Caracterização do ruído num intervalo de tempo de longa duração**

5.1 – Considerações gerais .....	53
5.2 – Apresentação dos resultados .....	54
5.3 – Análise dos resultados .....	56
5.3.1 – Variações nas emissões do ruído ao longo do dia .....	56
5.3.1.1 – Picos de níveis sonoros .....	60
5.3.1.2 – Espectros de frequências característicos .....	66
5.3.1.3 – Níveis sonoros mínimos .....	73
5.3.2 – Determinação dos indicadores Ld, Le, Ln e Lden .....	74
5.3.2.1 – Cálculo de Lden com base em medições contínuas .....	75
5.3.2.2 – Cálculo de Lden com base em medições parciais .....	76
5.4 – Conclusões .....	79

## **Capítulo 6 – Análise das emissões de ruído nos veículos rodoviários**

6.1 – Considerações gerais .....	81
6.2 – Resultados das medições .....	82
6.3 – Análise do resultado das medições .....	85
6.3.1 – Variação dos níveis sonoros com a passagem de veículos .....	85
6.3.2 – Níveis de ruído emitidos por categoria de veículos .....	87
6.3.3 – Análise do espectro de frequências .....	89
6.3.3.1 – Veículos da categoria 1 .....	90
6.3.3.2 – Veículos da categoria 2 e 3 .....	100
6.3.3.3 – Veículos da categoria 5 .....	104
6.3.3.4 – Níveis de ruído mínimo entre passagens de veículos .....	107
6.4 – Comparação dos espectros de frequências dos veículos isolados com os espectros de frequências obtidos nas medições de longa duração .....	110
6.5 – Conclusões .....	112

## **Capítulo 7 – Considerações finais**

7.1 – Conclusões .....	115
7.2 – Desenvolvimentos futuros .....	117

<b>Referências Bibliográficas</b> .....	119
---	-----

**ANEXO – CD com as Tabelas referidas no Capítulo 5 e 6**

---

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 2 – Bases da acústica

Tabela 2.1 – Malha de ponderação A para bandas de frequência de 1/3 de oitava .....	10
---	----

### Capítulo 3 – Modelos preditivos e medições *in situ* do ruído de tráfego

Tabela 3.1 - Períodos de referência definidos no Regulamento Geral do Ruído .....	23
---	----

Tabela 3.2 - Classes de veículos identificadas no projecto HARMONOISE .....	24
---	----

### Capítulo 4 – Metodologias de medição e caracterização do espaço envolvente

Tabela 4.1 – Tipos de detectores de tráfego .....	39
---	----

Tabela 4.2 – Sincronização da passagem dos veículos com os dados do sonómetro .....	42
---	----

### Capítulo 5 – Caracterização do ruído num intervalo de tempo de longa duração

Tabela 5.1 – Identificação e duração de cada medição realizada .....	54
--	----

Tabela 5.2 – Resultados das medições de longa duração .....	55
---	----

Tabela 5.3 – Percentagem de amostras superiores a determinado LAeq,5 .....	58
--	----

Tabela 5.4 – Picos de ruído identificados das medições .....	60
--	----

Tabela 5.5 – Espectros de frequências dos picos de LAeq,5 .....	62
---	----

Tabela 5.6 – Períodos de referência definidos no Regulamento Geral do Ruído .....	66
---	----

Tabela 5.7 – Intervalos de LAeq,5 .....	66
---	----

Tabela 5.8 – Distribuição das amostras por intervalo de LAeq,5 .....	67
--	----

Tabela 5.9 – Médias logarítmicas de LAeq,5 no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A) .....	69
---	----

Tabela 5.10 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIM1 .....	69
--	----

Tabela 5.11 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIM2 .....	70
--	----

Tabela 5.12 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIIM1 .....	71
---	----

Tabela 5.13 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIIM1 .....	72
---	----

Tabela 5.14 – Valores mínimos de LAeq,5 .....	73
---	----

Tabela 5.15 – Limites de exposição sonora definidos no Regulamento Geral do Ruído .....	74
---	----

---

Tabela 5.16 – Indicadores de ruído com base em medições contínuas .....	75
Tabela 5.17 – Combinações de horas para medições parciais .....	77
Tabela 5.18 – Indicadores de ruído obtidos com medições parciais no ponto PI .....	78
Tabela 5.19 – Indicadores de ruído obtidos com medições parciais no ponto PIII .....	78

## **Capítulo 6 – Análise das emissões de ruído nos veículos rodoviários**

Tabela 6.1 – Intervalos de LAeq .....	83
Tabela 6.2 – Resumo das tabelas presentes em cada ficheiro da pasta ‘Tabelas (B) referidas no Capítulo 6’ do CD em Anexo .....	83
Tabela 6.3 – Número de veículos identificados na medição P1 .....	84
Tabela 6.4 – Número de veículos identificados na medição P2 .....	84
Tabela 6.5 – Número de veículos identificados na medição P3 .....	84
Tabela 6.6 – Número de veículos identificados na medição P4 .....	84
Tabela 6.7 – Número de veículos identificados na medição P5 .....	84
Tabela 6.8 – Nível sonoro médio, calculado para cada ponto de medição .....	86
Tabela 6.9 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P1 .....	87
Tabela 6.10 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P2 .....	88
Tabela 6.11 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P3 .....	88
Tabela 6.12 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P4 .....	88
Tabela 6.13 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P5 .....	89
Tabela 6.14 – Valores extremos de LAeq e comparação entre Laeq_cat1 e Laeq_medição .....	90
Tabela 6.15 – Número de amostras de veículos isolados em cada intervalo de LAeq e em cada ponto de medição .....	93
Tabela 6.16 - Desvios padrão dos níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 1, em cada banda de frequências e por medição .....	95

---

Tabela 6.17 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de todos os veículos de todos os veículos da categoria 1, por medição .....	95
Tabela 6.18 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 1, por intervalo .....	96
Tabela 6.19 – Desvios padrão dos níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 1, em cada banda de 1/3 de oitava, para cada ponto de medição e por intervalo de LAeq .....	97
Tabela 6.20 – Valores extremos de LAeq e comparação entre LAeq_cat2 e LAeq_medição .....	101
Tabela 6.21 – Valores extremos de LAeq e comparação entre LAeq_cat3 e LAeq_medição .....	101
Tabela 6.22 – Médias de LAeq e espectros de frequências médio de veículos da categoria 2 e 3 .....	103
Tabela 6.23 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 3, por intervalo .....	103
Tabela 6.24 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 2, por intervalo .....	103
Tabela 6.25 – Médias de LAeq e espectros de frequências de veículos da categoria 5, por intervalo .....	105
Tabela 6.26 – Número de amostras de LAeq inferiores a 55 dB(A), por ponto de medição	107
Tabela 6.27 – Médias de LAeq e espectro de frequências médio de ruído mínimo, por intervalo .....	108

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2 – Bases da acústica

Figura 2.1 – Simulação do movimento de uma partícula, deslocada da posição de equilíbrio por acção de uma onda sonora, comparada ao movimento de um peso preso a uma mola .....	6
Figura 2.2 – Variação da pressão sonora comparada com o valor de RMS e valor médio ....	7
Figura 2.3 – Espectro sonoro em bandas de oitava e 1/3 de oitava .....	9
Figura 2.4 – (a) Curvas de igual sensação sonora; (b) Curvas de ponderação .....	9
Figura 2.5 – Tipos de fonte de ruído, relativamente à forma como propagam o ruído. Um veículo representa uma fonte pontual (esq.). Vários veículos representam uma fonte linear (dir.) .....	12
Figura 2.6 – (a) Espectros sonoros em bandas de 1/3 de oitava; (b) Diferenças entre a média logarítmica e a média aritmética .....	14
Figura 2.7 – Comparação entre a variação dos níveis de ruído num período de 6 minutos e o nível de ruído equivalente (LAeq,6min) .....	15

### Capítulo 3 – Modelos preditivos e medições *in situ* do ruído de tráfego

Figura 3.1 - Mapas de ruído, à escala concelhia 23km <sup>2</sup> (à esquerda) e extracto de um mapa a uma escala maior (à direita) .....	19
Figura 3.2 - Posição das fontes de ruído nos veículos ligeiros, pesados e motociclos .....	27
Figura 3.3 - Esquema de medição pelo método SPB .....	30
Figura 3.4 - Variante do método SPB, por utilização de dois microfones, indicado para o estudo do ruído nos pavimentos .....	30
Figura 3.5 - Esquema de funcionamento do sonómetro .....	33

### Capítulo 4 – Metodologias de medição e caracterização do espaço envolvente

Figura 4.1 – Localização de Vagos e proximidade das principais vias .....	36
Figura 4.2 – Posicionamento do microfone na fachada do edifício .....	38
Figura 4.3 – Esquema de posicionamento do equipamento na berma da estrada .....	40
Figura 4.4 – Posicionamento do veículo face ao sonómetro .....	41

---

Figura 4.5 – (a) Tabela com uma amostra da variação do LAeq face à passagem de dois veículos isolados. (b) Representação gráfica da variação do LAeq .....	44
Figura 4.6 – Esquema de exemplificativo da passagem de veículos registados a passar próximos de outros da mesma categoria .....	45
Figura 4.7 – (a) Tabela com uma amostra da variação de LAeq face à passagem de sete veículos da categoria 1. (b) Representação gráfica da variação de LAeq .....	46
Figura 4.8 – Posicionamento dos pontos de medição ao longo do troço da EN109 em estudo .....	47
Figura 4.9 - Fotografia do local de medição P1 .....	48
Figura 4.10 - Pontos P2 e P1, e esquema do posicionamento do microfone na medição em P1 .....	49
Figura 4.11 - Fotografias dos locais de medição PII, P3 e PIII .....	50
Figura 4.12 - Fotografia panorâmica do local de medição P4 .....	51
Figura 4.13 - Fotografia panorâmica do local de medição P5 .....	52
Figura 4.14 - Pavimento no ponto de medição P1 (esquerda) e pavimento degradado no ponto de medição P3 (direita) .....	52
<b>Capítulo 5 – Caracterização do ruído num intervalo de tempo de longa duração</b>	
Figura 5.1 – Variação dos níveis sonoros no ponto P1 da medição PIM1 .....	56
Figura 5.2 – Variação dos níveis sonoros no ponto P1 da medição PIM2 .....	56
Figura 5.3 – Variação dos níveis sonoros no ponto PII da medição PIIM1 .....	57
Figura 5.4 – Variação dos níveis sonoros no ponto PIII da medição PIIM1 .....	57
Figura 5.5 – Variações dos níveis de ruído(LAeq,5) das várias medições, ao longo do dia .....	59
Figura 5.6 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico obtidos na medição PIM1 .....	63
Figura 5.7 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico obtidos na medição PIM2 .....	63
Figura 5.8 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico obtidos na medição PIIM1 .....	63
Figura 5.9 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico obtidos na medição PIIM1 .....	63

---

Figura 5.10 – Espectros de frequências dos picos de ruído identificados nas medições PIM1, PIM2 e PIIM1, com desenvolvimentos semelhantes ao longo das bandas de 1/3 de oitava .....	64
Figura 5.11 – Espectros de frequências dos picos A4, B1, B2, B3 e D4 em comparação com os espectros esperados e característicos do ruído de tráfego .....	64
Figura 5.12 – Espectros de frequências dos picos C2 e C3, em comparação com os espectros de LAeq,5 próximos desses picos de ruído .....	64
Figura 5.13 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico (C1) no ponto de medição PIIM1 .....	65
Figura 5.14 – Espectros de frequência médios no intervalo de LAeq,5, entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A) .....	68
Figura 5.15 – Frequências no intervalo de LAeq,5 entre os 65 e os 70 dB(A) Diurno .....	73
<b>Capítulo 6 – Análise das emissões de ruído nos veículos rodoviários</b>	
Figura 6.1 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P1 .....	85
Figura 6.2 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P2 .....	85
Figura 6.3 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P3 .....	86
Figura 6.4 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P4 .....	86
Figura 6.5 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P5 .....	86
Figura 6.6 – Espectros de frequências do ruído emitido por veículos da categoria 1 que passaram isolados no ponto de medição P1 .....	91
Figura 6.7 – Espectros de frequências do ruído emitido por veículos da categoria 1 que passaram isolados no ponto de medição P2 .....	91
Figura 6.8 – Desvios padrão dos níveis de ruído, emitido por veículos isolados da categoria 1, em função da banda de frequência .....	92
Figura 6.9 – Espectros de frequência médios do ruído emitido por veículos da categoria 1 em cada ponto de medição .....	93
Figura 6.10 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 60 a 65 dB(A) .....	98
Figura 6.11 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 65 a 70 dB(A) .....	98

---

---

Figura 6.12 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 70 a 75 dB(A) .....	98
Figura 6.13 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 75 a 80 dB(A) .....	99
Figura 6.14 – Espectros de frequências médios obtidos da Tabela 6.18 .....	99
Figura 6.15 – Espectros de frequência do ruído emitido por veículos da categoria 3 que passaram nos pontos de medição P1, P3 e P5 .....	102
Figura 6.16 – Espectros de frequência médios dos veículos da categoria 3, nos intervalos apresentados na Tabela 6.23 .....	102
Figura 6.17 – Espectros de frequência médios dos veículos da categoria 2, nos intervalos apresentados na Tabela 6.24 .....	102
Figura 6.18 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A) .....	106
Figura 6.19 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 70 dB(A) e os 75 dB(A) .....	106
Figura 6.20 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 75 dB(A) e os 80 dB(A) .....	106
Figura 6.21 – Espectros de frequências de LAeq superiores a 80 dB(A) .....	106
Figura 6.22 – Espectro de frequências médios do ruído mínimo, para LAeq inferiores a 50 dB(A) .....	108
Figura 6.23 – Espectro de frequências médios do ruído mínimo, para LAeq inferiores a 55 dB(A) .....	108
Figura 6.24 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P1 .....	109
Figura 6.25 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P2 .....	109
Figura 6.26 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P3 .....	109
Figura 6.27 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P4 .....	109
Figura 6.28 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P5 .....	109
Figura 6.29 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em PI e o espectro médio do ruído emitido por veículos da categoria 1 na medição P2 .....	111
Figura 6.30 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em PII e o espectro médio do ruído emitido por veículos da categoria 1 na medição P3 .....	111

---

Figura 6.31 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em PI e o espectro médio da medição P2, no intervalo dos 65 aos 70 dB(A) .....	111
Figura 6.32 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em PI e o espectro médio da medição P3, no intervalo dos 65 aos 70 dB(A) .....	111

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 – Considerações iniciais

As estradas nacionais são estruturantes no desenvolvimento de muitos dos aglomerados urbanos, no entanto também constituem a sua principal fonte de ruído, afectando significativamente a qualidade de vida das populações, principalmente aquelas que se fixaram ao longo destas vias de comunicação.

A rede rodoviária de Portugal continental tinha em 2001 uma extensão de 12 010 km, dos quais 4 909 km correspondiam a estradas nacionais e 4500 km a estradas regionais [1].

No atravessamento de zonas urbanizadas, são geralmente tomadas medidas para controlo da circulação, nomeadamente a colocação de semáforos controladores do limite de velocidade, semáforos para gestão do tráfego em cruzamentos, rotundas, colocação de lombas, entre outras que originam condições de circulação distintas.

Estas medidas de controlo ou gestão do tráfego, originam: situações de acelerações/desacelerações que podem ser mais ou menos intensas; zonas em que as velocidades podem não ser efectivamente controladas; condições para maior ou menor congestionamento; entre outras. De um modo geral, há uma série de alterações que podem ocorrer na circulação rodoviária e que têm influência nos níveis de ruído emitidos pelos veículos.

A avaliação da exposição das populações ao ruído faz-se segundo os indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , como disposto no Regulamento Geral do Ruído [2]. Estes indicadores são determinados por medições *in situ* ou por métodos de cálculo, tendo por base os períodos de referência indicados no mesmo regulamento.

As medições *in situ* são aplicáveis em zonas pouco extensas, geralmente para a determinação dos indicadores de ruído com fins de licenciamento de operações urbanísticas ou actividades, e normalmente o tempo de medição corresponde a uma parte do período de tempo de referência, o que implica conhecer os períodos em que os níveis de ruído são mais desfavoráveis.

Relativamente a métodos de cálculo, foi desenvolvido com o projecto europeu HARMONOISE/IMAGINE [3], um novo modelo de previsão dos níveis de ruído de tráfego rodoviário. Este modelo permite uma série de correcções no valor estimado, de modo a englobar outros efeitos com influência no ruído emitido pelos veículos, possibilitando a adaptação do modelo às condições que se verificam na realidade. A aplicação dessas correcções implica o conhecimento de um conjunto de parâmetros (tipo de combustível, dimensões de pneus, percentagem de VANs e outros). No entanto, há um conjunto de factores com influência no ruído emitido por veículos a circular em meio urbano, que não são de todo possíveis de transpor para o modelo de cálculo, nomeadamente o estilo de condução próprio de cada condutor perante diferentes situações de tráfego e alterações nas condições de circulação no mesmo local ou entre locais próximos.

## 1.2 – Objectivo e metodologias

Pretende-se com esta dissertação, estudar o ruído emitido por veículos rodoviários em circulação num troço da EN109 que atravessa a vila de Vagos. Para tal, seleccionaram-se dois locais correspondendo a duas situações de tráfego, onde se fizeram medições contínuas durante pelo menos 48 horas, com o objectivo de observar as variações dos níveis de ruído ao longo do dia.

Com o resultado dessas medições determinaram-se os indicadores de ruído ( $L_{den}$ ,  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ ). Na hipótese destes indicadores poderem ser determinados com medições parciais, fizeram-se combinações de horas e tempos de medição utilizando as medições já realizadas, com o objectivo de calcular novos indicadores e verificar que diferenças são obtidas entre utilizar medições contínuas e medições parciais.

Identificaram-se os níveis de ruído mais elevados e compararam-se os respectivos espectros de frequências, procurando possíveis semelhanças. O mesmo se fez para os níveis de ruído mínimos. Analisaram-se ainda os espectros de frequências que caracterizam o ruído diurno nos locais de medição.

Posteriormente, realizaram-se medições ao ruído emitido por veículos rodoviários na passagem em cinco locais com diferentes condições de circulação, sendo o principal objectivo, a análise das variações dos níveis de ruído e do espectro de frequências.

Por fim, comparam-se os espectros de frequências obtidos nas medições contínuas durante o período diurno, com os espectros do ruído emitido por veículos isolados, concluindo acerca da relação entre eles.

O estudo desenvolvido é importante para a compreensão dos efeitos das várias situações de tráfego nos níveis de ruído emitidos e no respectivo espectro de frequências, situações essas, que não são totalmente simuláveis por métodos de cálculo.

### **1.3 – Organização da tese**

A presente tese desenvolve-se ao longo de sete capítulos. Neste primeiro capítulo faz-se uma introdução ao problema do ruído de tráfego rodoviário e à importância do seu estudo. São apresentados os objectivos e as metodologias adoptadas.

No capítulo 2 apresentam-se conceitos acústicos fundamentais para a compreensão do trabalho desenvolvido.

No capítulo 3 abordam-se os métodos para a determinação dos indicadores de ruído a que se refere o Regulamento Geral do Ruído, focando essencialmente os parâmetros considerados nos modelos de cálculo para previsão dos níveis sonoros.

No capítulo 4 faz-se uma descrição dos locais onde se realizaram as medições e das metodologias utilizadas.

No capítulo 5 são apresentadas as análises aos resultados das medições de longa duração, onde se observam as variações dos níveis sonoros durante o dia e se caracteriza o ruído em termos de  $L_{den}$  e espectro de frequências. No cálculo dos indicadores de ruído ( $L_{den}$ ,  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ ) fez-se uma análise aos diferentes valores que podem ser obtidos.

No capítulo 6 são comparados os níveis de ruído e espectros de frequências emitidos por veículos rodoviários em diferentes situações de tráfego. Posteriormente são comparados os espectros de veículos da categoria 1 isolados, com os espectros obtidos nas medições de pelo menos 24 horas, do ruído ambiente.

Por último foram apresentadas no capítulo 7 as conclusões quanto às características do ruído emitido no troço da EN109 em estudo e propuseram-se futuras investigações no seguimento da presente dissertação.

## **CAPÍTULO 2 – BASES DA ACÚSTICA**

### **2.1 – Considerações gerais**

A compreensão do estudo desenvolvido e apresentado nesta dissertação implica o conhecimento de conceitos acústicos, como frequência, níveis de pressão sonora, curvas de ponderação, entre outros. No presente capítulo pretende-se fazer uma breve introdução às bases da acústica.

### **2.2 – Natureza do som**

O som é um fenómeno físico com origem em vibrações mecânicas que se propagam em onda através de um meio elástico, o qual pode ser um gás, um líquido ou um sólido, com uma velocidade que depende das características do meio [4].

As vibrações provocam uma variação da pressão e uma variação da posição das partículas, fazendo com que estas se movimentem e transmitam esse movimento às partículas seguintes e assim sucessivamente até chegar ao receptor (mecanismo capaz de detectar as pequenas variações de pressão) [5].

Para melhor compreender o movimento oscilatório das partículas, pode-se compará-lo ao movimento de um peso preso a uma mola e deslocado da sua posição de equilíbrio. Este vai adquirir uma determinada energia que o fará oscilar em torno da posição inicial, a mola que o suporta, estará alternadamente em compressão e expansão e a trajectória desenhada pelo peso ao longo do tempo será a de uma onda (sinusóide), caracterizada pela sua amplitude (afastamento máximo do peso em relação à posição inicial), frequência (número de vezes que ele oscila num segundo) e período (tempo que leva a completar um ciclo).

Atendendo ao caso das partículas de ar, estas deslocar-se-ão da sua posição inicial se houver uma variação de pressão, que comprima e expanda as partículas, criando zonas de compressão e rarefacção respectivamente, do mesmo modo que a mola comprime e

expande, afastando o peso da sua posição inicial. Se a variação de pressão der origem a uma onda sonora, o movimento das partículas permite que o som se propague sem que estas se afastem da sua posição de equilíbrio, há transporte de energia, mas não há transporte de matéria.

Em termos de pressão, corresponde a pequenas variações, menos de 10Pa em torno da pressão atmosférica que tem um valor aproximado de  $10^5 Pa$ , são essas variações, do que se designa de pressão sonora, que o sistema auditivo humano consegue detectar [6].

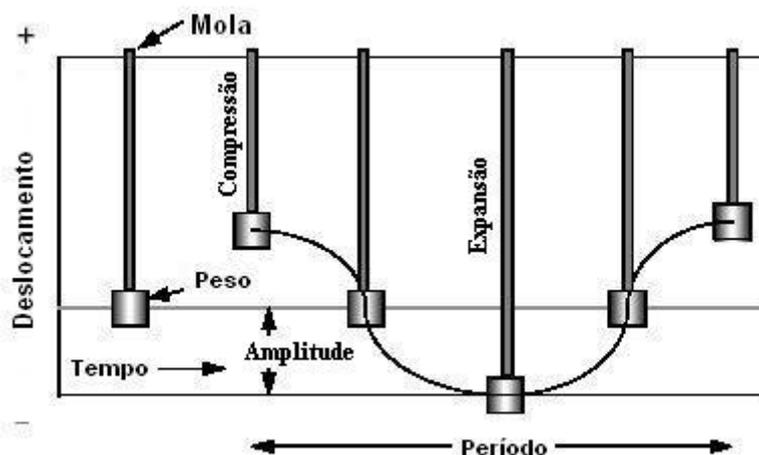


Figura 2.1 – Simulação do movimento de uma partícula, deslocada da posição de equilíbrio por ação de uma onda sonora, comparada ao movimento de um peso preso a uma mola [7]

Os sons na natureza não podem ser representados por uma onda (sinusóide) porque não se tratam de sons puros, mas sim de sons complexos, formados pela sobreposição de várias ondas sonoras com amplitudes e frequências próprias.

Para a existência de som é necessário que haja uma fonte sonora que o produza, um meio em que se possa propagar e um receptor, animal ou Homem, com um sistema auditivo capaz de detectar as pequenas variações de pressão numa determinada gama de frequências.

No caso do Homem, o sistema auditivo é composto pelo ouvido externo, médio e interno. O ouvido externo recebe as ondas sonoras e encaminha-as para o ouvido médio, constituído pelos ossículos martelo, bigorna e estribo, que entram em vibração transmitindo desse modo as ondas sonoras para o ouvido interno, onde são convertidas em impulsos eléctricos. O cérebro recebe esses impulsos eléctricos e interpreta-os. Se os sons

não tiverem qualquer significado, forem incômodos ou prejudiciais à saúde, então designa-se de ruído.

## 2.3 – Análise do som

### 2.3.1 – Níveis de pressão sonora

Um dos parâmetros para a caracterização das ondas sonoras é a amplitude, que corresponde ao valor máximo e mínimo que a pressão sonora atinge em torno da pressão atmosférica. Essas variações de pressão são muito rápidas e com diferenças de valor significativas, mesmo em intervalos de tempo inferiores a um segundo.

O conhecimento de todas as variações da pressão sonora ( $p$ ) não tem interesse, portanto a pressão é determinada em pequenos intervalos de tempo normalizados ( $t_2 - t_1$ ). Assim, o valor que normalmente se determina é o da pressão eficaz ou RMS (*root mean square*) obtido pela seguinte equação [8]:

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad (2.1)$$

O valor de pressão sonora máximo ( $P_{peak}$ ) e o valor médio ( $P_{média}$ ) relacionam-se com RMS da seguinte forma [5]:

$$RMS = \frac{P_{peak}}{\sqrt{2}} = (0,707)P_{peak} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}(P_{média}) = (1.1)(P_{média}) \quad (2.2)$$

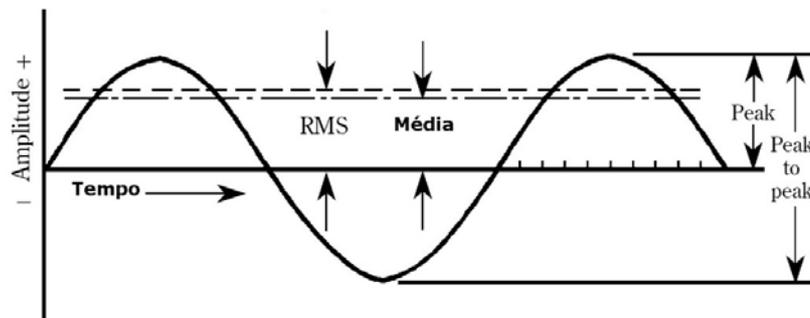


Figura 2.2 – Variação da pressão sonora comparada com o valor de RMS e valor médio [5]

A gama de pressões que o ouvido humano consegue detectar é muito ampla ( $10^7$ ) [6], se a pressão sonora fosse expressa em Pa obrigaria a trabalhar com uma escala muito grande, o que não seria prático em termos de cálculo e na leitura das medições, portanto foi necessário adoptar outra escala, o decibel (dB). Nesta unidade as pressões audíveis passam a ser expressas em níveis de pressão sonora, com valores entre os 0 dB (limiar da audição) e 130 dB (limiar da dor).

A conversão de pressões sonoras ( $p$ ) para níveis de pressão sonora ( $L_p$ ) faz-se pela seguinte equação [6]:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.3)$$

onde,  $p_0$  – pressão sonora de referência,  $2 \times 10^{-5}$  Pa.

O valor da pressão instantânea que se lê no sonómetro é o resultado da equação (2.3).

### 2.3.2 - Frequências

A frequência ( $f$ ) é outro dos parâmetros importantes na caracterização do som e corresponde ao número de ciclos que uma onda sonora completa por segundo, sendo a unidade de medida o Hertz (Hz).

O sistema auditivo humano consegue captar sons numa gama de frequências entre os 20 Hz e os 20.000Hz. Sons com frequências mais baixas são denominados de infra-sons, alguns dos quais podem ser sentidos pelo corpo sob a forma de vibrações. Sons com frequências mais altas são designados de ultra-sons, audíveis por alguns animais (cães, baleias, morcegos e outros).

Em acústica, a escala de frequências é dividida em intervalos normalizados designados de bandas, com largura de 1/1 oitava, 1/3 de oitava ou outra subdivisão, dependendo do detalhe que se pretenda. Cada oitava representa um intervalo utilizado em música para designar que entre duas notas a frequência duplica ou diminui para metade. Desse modo, um som de 100 Hz tem uma frequência de 200 Hz quando emitido numa oitava acima e 400 Hz quando emitido duas oitavas acima e assim sucessivamente.

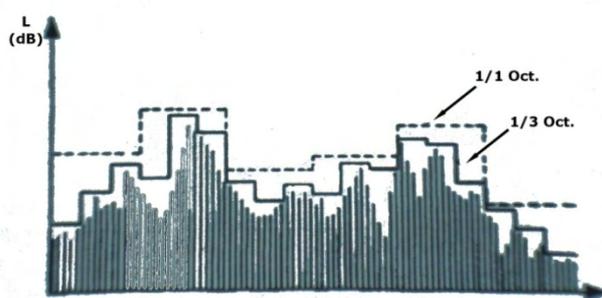


Figura 2.3 – Espectro de frequências em bandas de oitava e 1/3 de oitava [6]

### 2.3.3 – Malhas de ponderação

A sensibilidade do ouvido não é idêntica em todas as frequências e varia consoante os níveis de pressão sonora. Fletcher e Munson estudaram essa relação entre a frequência, nível de pressão sonora e a percepção da intensidade sonora [7], em resultado surgem as curvas de igual sensação sonora como se apresenta na Figura 2.4(a). Cada curva representa um nível de percepção subjectiva da intensidade sonora, medido na frequência de 1kHz, e a unidade de medida é o fone (1fone = 1dB).

Para que o sonómetro tenha uma resposta idêntica à do ouvido humano estudaram-se curvas de ponderação A, B e C (Figura 2.4a), com base nas curvas Fletcher-Munson. Na Tabela 2.1 são apresentados os valores das ponderações da curva A em cada banda de 1/3 de oitava.

Para indicar que um determinado nível sonoro é ponderado, adiciona-se à unidade (dB) a indicação da ponderação. Assim um nível ponderado A vem em dBA ou dB(A).

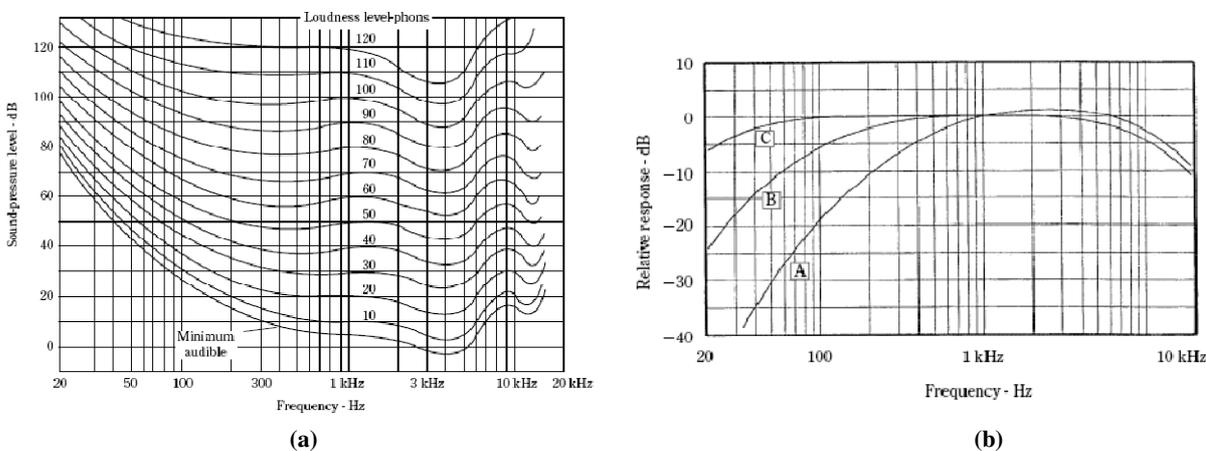


Figura 2.4 – (a) Curvas de igual sensação sonora; (b) Curvas de ponderação [5]

Tabela 2.1 – Malha de ponderação A para bandas de frequência de 1/3 de oitava [9]

Banda de frequência [Hz]	Ponderação A	Banda de frequência [Hz]	Ponderação A	Banda de frequência [Hz]	Ponderação A
10	-70,4	160	-13,4	2500	1,3
12,5	-63,4	200	-10,9	3150	1,2
16	-56,7	250	-8,6	4000	1
20	-50,5	315	-6,6	5000	0,5
25	-44,7	400	-4,8	6300	-0,1
31,5	-39,4	500	-3,2	8000	-1,1
40	-34,6	630	-1,9	10000	-2,5
50	-30,2	800	-0,8	12500	-4,3
63	-26,2	1000	0	16000	-6,6
80	-22,5	1250	0,6	20000	-9,3
100	-19,1	1600	1		
125	-16,1	2000	1,2		

### 2.3.4 – Potência e intensidade sonora

A fonte sonora caracteriza-se pelo espectro sonoro e pela quantidade de energia acústica que consegue emitir por unidade de tempo, e que se designa por potência sonora ( $W$ ), em que a unidade de medida é o Watt ( $W$ ).

As ondas sonoras propagam essa energia por uma superfície esférica centrada na fonte pontual. A intensidade sonora representa a quantidade de energia que atravessa uma unidade área dessa superfície a uma distância  $r$  da fonte.

A intensidade ( $I$ ) relaciona-se com a potência sonora ( $W$ ) e com a pressão ( $p$ ) do seguinte modo [6]:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.4)$$

onde,  $I$  – intensidade sonora ( $W/m^2$ );

$W$  – potência sonora ( $W$ );

$r$  – distância (m);

$p$  – pressão sonora (Pa);

$\rho$  – massa volúmica (ar)  $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ ;

$c$  – celeridade (m/s)  $\approx 340 \text{ m/s}$ .

A potência sonora e a intensidade podem ser expressas em termos de níveis de potência sonora (equação 2.5) e níveis de intensidade sonora (equação 2.6) [10].

$$L_w = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad [dB] \quad (2.5)$$

onde,  $W$  – potência da fonte (W);

$W_0$  – potência de referência ( $10^{-12}$ W).

$$L_I = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad [dB] \quad (2.6)$$

onde,  $I$  – intensidade sonora ( $W/m^2$ );

$I_0$  – intensidade sonora de referência ( $10^{-12}W/m^2$ ).

### 2.3.5 – Atenuação do ruído

Considerando o som a propagar em espaço livre a partir de uma fonte pontual deduz-se pela equação (2.4), que uma das consequências do aumento do afastamento em relação à fonte é a diminuição da intensidade sonora que decresce com o quadrado da distância.

No caso da propagação do ruído no exterior existem outros factores que influenciam na redução dos níveis de pressão sonora. Segundo Harris [10], a atenuação total é dada por:

$$A_{total} = A_{div} + A_{atm} + A_{solo} + A_{barreira} \quad (2.7)$$

onde,  $A_{div}$  – atenuação geométrica [dB];

$A_{atm}$  – atenuação atmosférica [dB];

$A_{solo}$  – atenuação por efeito de absorção no solo [dB];

$A_{barreira}$  – atenuação devido à presença de barreiras [dB].

A atenuação geométrica depende da forma como a fonte propaga o ruído.

Considerando o exemplo do tráfego rodoviário, um veículo isolado a circular ao longo da estrada representa uma fonte pontual em que o ruído é propagado por ondas esféricas, enquanto um conjunto de veículos em circulação representa uma fonte linear, propagando o ruído por ondas cilíndricas, a Figura 2.5 ilustra essas duas situações.

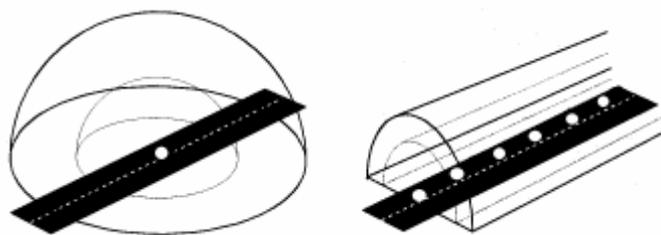


Figura 2.5 – Tipos de fonte de ruído, relativamente à forma como propagam o ruído. Um veículo representa uma fonte pontual (esq.). Vários veículos representam uma fonte linear (dir.) [11]

Na fonte pontual o nível de pressão sonora,  $L_p$ , diminuiu 6 dB quando a distância à fonte duplica; numa fonte linear essa diminuição é de 3 dB, sendo estas atenuações determinadas pelas seguintes equações [11].

$$\text{Para uma fonte pontual: } \Delta L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \quad (2.8)$$

$$\text{Para uma fonte linear: } \Delta L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \quad (2.9)$$

onde,  $r_1$  e  $r_2$  são distâncias em relação à fonte de ruído, entre as quais se determina a atenuação.

A atenuação ( $A_{atm}$ ) na distância  $d$ , devido à propagação do som no ar é dada pela seguinte equação [12]:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000} \quad (2.10)$$

onde,  $\alpha$  é um coeficiente de atenuação atmosférica, em decibel por quilómetro, determinado para cada banda de oitava em função da temperatura do ar e da humidade relativa.

Na determinação da atenuação junto ao solo e para distâncias inferiores a 100 m são considerados três tipos de solo (rígido, macio e muito macio) [10]. Os solos rígidos ou mais densos tendem a reflectir o ruído, enquanto os solos macios ou mais porosos tendem a absorver.

Para pequenas distâncias e numa aproximação muito grosseira, a atenuação ( $A_{solo}$ ) junto a um terreno rígido seria de -3dB ou de 1 a 5 dB em terrenos macios [6].

Após a determinação de todas as atenuações, para cada banda de oitava, entre a fonte de ruído e o receptor, calcula-se a atenuação total ( $A_{total}$ ), e sabendo o nível de potência sonora da fonte ( $L_w$ ), determina-se o nível de pressão sonora no receptor ( $L_p$ ) pela seguinte equação [10]:

$$L_p = L_w \cdot A_{total} \quad (2.11)$$

### 2.3.6 – Adição e média de níveis sonoros

A adição ou subtracção de níveis de pressão sonora, intensidade, potência ou qualquer outro parâmetro que esteja numa escala logarítmica faz-se através de somas ou subtracções logarítmicas. Assim, para se adicionar  $n$  níveis ( $L_i$ ) utiliza-se a equação (2.12) [6]:

$$L_{total} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.12)$$

A adição de níveis usa-se frequentemente para combinar várias fontes sonoras ou para determinar o nível de pressão global a partir da soma dos níveis de pressão em cada banda do espectro de frequências. O mesmo se aplica ao cálculo da média. Por vezes, quando existe um conjunto de dados para analisar e que se pretende representar por um único valor, utiliza-se a média logarítmica (equação (2.13)).

$$\bar{L}_p = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2.13)$$

Na Figura 2.6, em (a), apresenta-se um conjunto de espectros sonoros. As médias, logarítmica e aritmética, desse conjunto de espectros são apresentadas em (b), onde se verifica uma das particularidades da média logarítmica que é o facto de tender para os valores mais elevados da amostra.

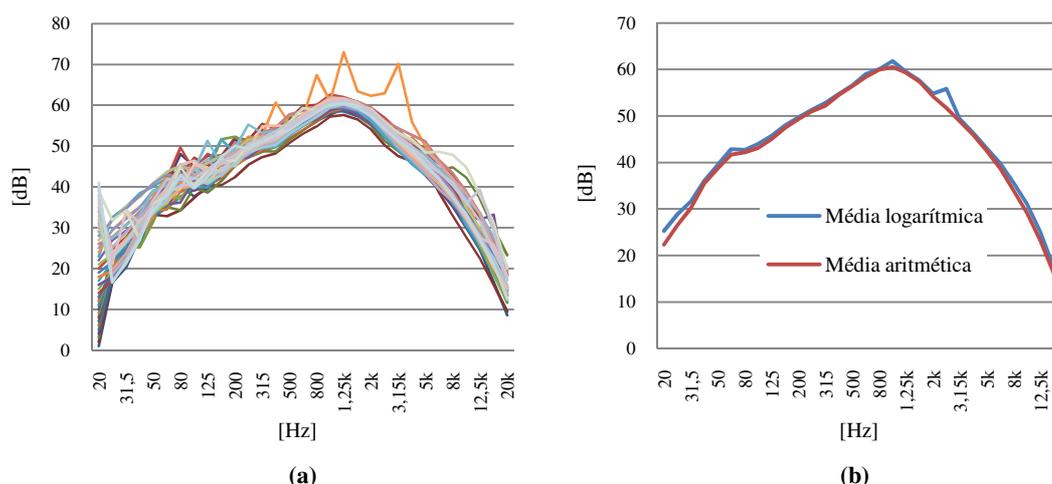


Figura 2.6 – (a) Espectros sonoros em bandas de 1/3 de oitava; (b) Diferenças entre a média logarítmica e a média aritmética.

### 2.3.7 – Nível sonoro contínuo equivalente, $L_{eq}$

Há situações em que as fontes de ruído variam em número e em potência sonora ao longo do tempo, como no caso do ruído ambiente em que se verificam bastantes flutuações nos níveis de pressão sonora num intervalo de tempo ( $T$ ).

As variações na pressão RMS medidas pelo sonómetro no tempo ( $T$ ) traduzem-se numa determinada quantidade de energia acústica. O nível sonoro contínuo equivalente determinado pela equação 2.14 [4] é o nível constante no tempo ( $T$ ) que totaliza essa mesma quantidade de energia.

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_{ref}^2(t)} dt \right] \quad (2.14)$$

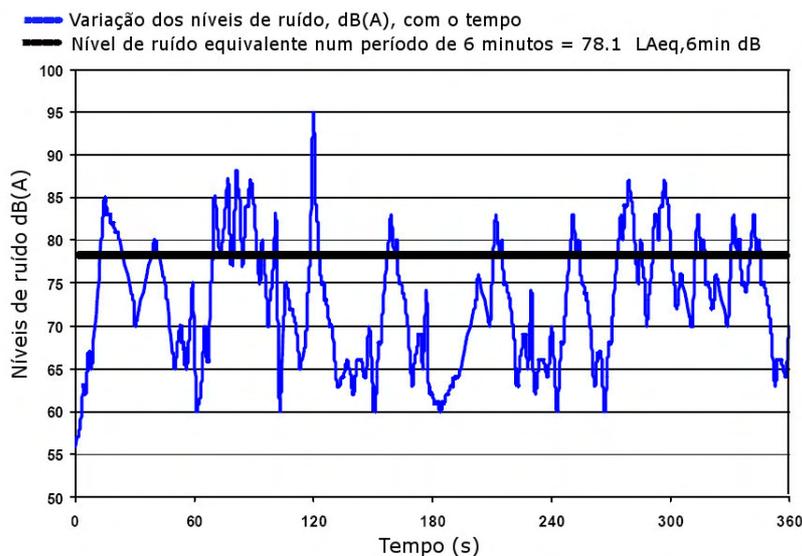
onde,  $T = (t_2 - t_1)$ ;

$p$  – pressão sonora instantânea (Pa);

$p_{ref}$  – pressão sonora de referência ( $2 \times 10^{-5}$  Pa).

O nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, é determinado por adição dos níveis sonoros obtidos para cada banda de frequência, nos quais se adiciona o respectivo valor de ponderação, apresentando na Tabela 2.1 para cada banda de frequência.

A Figura 2.7 mostra a relação entre a variação dos níveis de ruído no período de tempo (T) e o nível de ruído equivalente (LAeq,T) nesse mesmo período.



**Figura 2.7 – Comparação entre a variação dos níveis de ruído num período de 6 minutos e o nível de ruído equivalente (LAeq,6min) [13].**

## **CAPÍTULO 3 – MODELOS PREDITIVOS E MEDIÇÕES IN SITU DO RUÍDO DE TRÁFEGO**

### **3.1 – Considerações Gerais**

Na Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87 de 7 de Abril) [14] e no Livro Verde Sobre a Futura Política de Ruído de 1996 [15], o ruído é visto como um dos problemas ambientais o qual carecia de legislação específica. Com a publicação do Regime Legal da Poluição Sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro [16] são elaborados os primeiros mapas de ruído que vêm dar cumprimento ao quadro legal então em vigor.

Contudo, o mapeamento do ruído não surge a par das exigências legais. Alguns países da Comunidade Europeia já os elaboram desde dos anos 70 [17].

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho [18], que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2002/49/CE, de 25 de Junho, surge um novo quadro legal do ruído ambiente que estabelece metodologias para a elaboração dos mapas de ruído e a obrigatoriedade da sua elaboração, bem como a de divulgação de informação ao público sobre ruído ambiente e prestação de informação à Comissão Europeia. Por conseguinte, estes mapas de ruído são ferramentas estratégicas de análise e planeamento, harmonizadas a nível europeu, servindo assim de base à definição da futura política de ruído. A mesma directiva prevê ainda a elaboração de planos de acção como instrumento de gestão do ruído, procurando salvaguardar a saúde e bem-estar das populações e preservar a qualidade do ambiente acústico.

Agir, combatendo o problema do ruído, implica conhecer as fontes de ruído e como estas podem ser alteradas de modo a diminuir os seus níveis de emissão.

A legislação estabelece que o mapeamento do ruído é relativo aos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$  que, segundo o disposto no Anexo II, podem ser determinados por metodologia de cálculo ou por medições na zona de avaliação.

Mais recentemente foi publicado o novo Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro) [2] que veio clarificar a articulação deste com outros regimes

jurídicos e normas. De acordo com o regulamento o controlo da produção de ruído é feito pelo critério de exposição máxima, impondo valores limite de exposição em função da classificação da zona (sensível, mista e não classificada).

No presente capítulo pretende-se fazer uma breve introdução aos métodos de cálculo e de medição que permitem avaliar o ruído ambiente, abordando principalmente os parâmetros utilizados no estudo do ruído de tráfego rodoviário.

### **3.2 – Mapas de ruído**

Os mapas de ruído são representações gráficas da distribuição espacial do ruído ambiental, que permitem avaliar a exposição das populações ao ruído existente ou previsto, em que o indicador de ruído é apresentado com uma determinada cor correspondente ao nível de ruído. O esquema de cores é definido pela norma NP1730-2 [19b]. Assim para cada indicador tem-se uma carta em que se consegue analisar a variação do nível de ruído em função da variação da cor.

Para uma mesma zona de avaliação poderão ser elaborados vários mapas, com escalas a variar desde Plano de Pormenor, até áreas abrangendo vários km<sup>2</sup>, e estes mapas podem ser referentes a cada um dos indicadores analisados, obtendo-se nomeadamente, mapas de ruído diurno e nocturno, de ruído de tráfego rodoviário, mapas de conflitos onde se identifiquem as zonas em que não estão a ser cumpridos os limites de exposição sonora, entre outros.

As escalas em que são realizados os mapas de ruído não permitem que estes sejam desenvolvidos com recurso exclusivo a medições *in situ*, pois seria necessário um número muito elevado de medições para se conseguir alguma definição nas variações dos níveis de ruído existente. O recurso a métodos de cálculo é a solução mais viável para a elaboração destes mapas em larga escala e a única possível de se utilizar no caso de previsões.

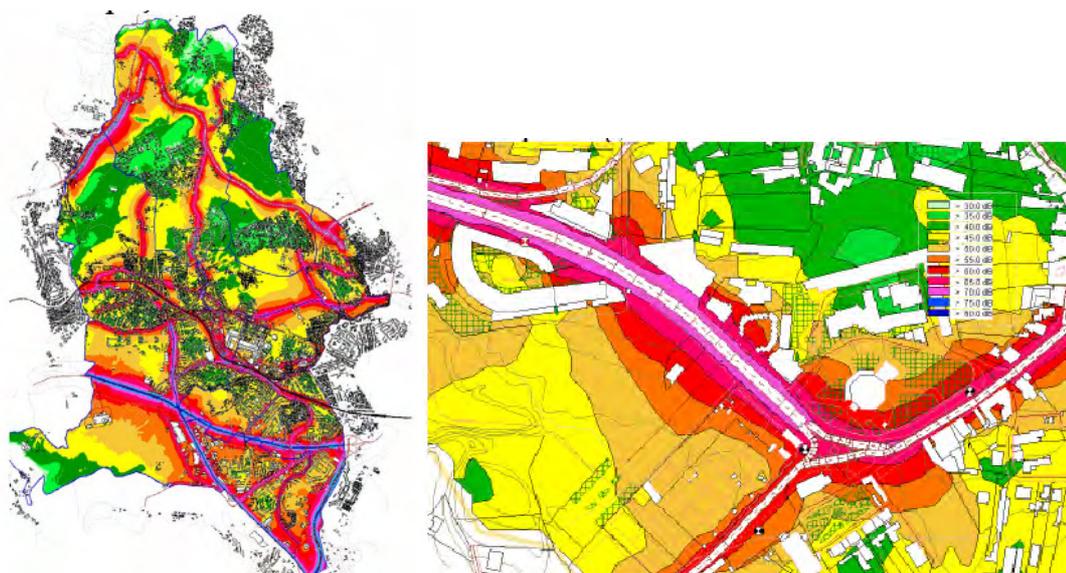


Figura 3.1 - Mapas de ruído, à escala concelhia 23 km<sup>2</sup> (à esquerda) e extracto de um mapa a uma escala maior (à direita) [20].

### 3.2.1 – Modelos de cálculo

Os modelos de análise baseiam-se nos conhecimentos científicos acerca da acústica, para calcular os níveis de ruído que uma ou mais fontes produzem a uma determinada distância. Portanto, entre a(s) fonte(s) de ruído e o ponto em análise há uma distância e um conjunto de factores que interferem na propagação dos sons e que podem levar a diferenças significativas nos valores calculados em relação aos valores medidos. Tais factores, que originam fenómenos acústicos como a absorção, a difracção e a reflexão, devem-se a obstáculos (edifícios, barreiras acústicas, vegetação, topografia), condições atmosféricas (temperatura, humidade e vento) e outros.

As características do som emitido pela fonte, designadamente nível de pressão sonora, espectro de frequências, direccionalidade e divergência geométrica (fonte pontual ou fonte linear), também introduzem erros no cálculo dos níveis sonoros, se não forem bem caracterizadas. Daqui resulta que uma componente do modelo visa a análise dos dados relativos à fonte de emissão, enquanto a outra analisa as variáveis com influência na propagação.

### 3.2.1.1 – Fontes de ruído urbano

No meio urbano existem inúmeras fontes de ruído susceptíveis de causar incomodidade, o Decreto-lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro [16] identifica especificamente:

- a) Actividades ruidosas em edifícios, resultantes da alteração da utilização e de obras, incluindo estaleiros de construção civil em geral;
- b) Laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- c) A utilização de máquinas e equipamentos, bem como de sistemas de sinalização sonora;
- d) Infra-estruturas de transportes (aéreo, ferroviário e rodoviário);
- e) Feiras e mercados, e actividades de lazer como espectáculos, diversões e manifestações desportivas.

As fontes de ruído industrial e de infra-estruturas de transportes estão entre as que mais impactos causam no ambiente acústico, devido aos níveis elevados de emissão sonora e/ou por perdurarem no tempo.

Para efeitos do mapeamento do ruído são considerados quatro tipos de fontes sonoras: tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e fontes fixas, e no caso de mapas para articulação com os Planos de Urbanização e Planos de Pormenor devem ser incluídas todas as fontes com emissões para o exterior [21].

Para se prever como variam os níveis de ruído, produzidos por estas fontes, numa determinada área de avaliação foram desenvolvidos vários métodos de cálculo; a Comissão Europeia, pela Directiva 2002/49/CE [22] recomenda provisoriamente a utilização de métodos nacionais, adaptados à definição dos indicadores de ruído, ou em alternativa os métodos indicados no Anexo II da referida directiva, que visam o cálculo do ruído industrial, das aeronaves, do tráfego rodoviário e do tráfego ferroviário.

No caso do ruído do tráfego rodoviário, o Decreto-Lei n.º 146/2006 [18] define como método provisório de cálculo o método francês NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), publicado no «*Arrêté*, du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, *Journal Officiel*, du 10 mai 1995, article 6», e na norma francesa XPS 31-133.

No que se refere aos dados de entrada relativos à emissão, estes documentos remetem para o «*Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR, 1980*»

### 3.2.1.2 – Dados de entrada para aplicação dos modelos

O recurso a software previsional do ruído é quase imprescindível, principalmente em grandes áreas e em meio urbano onde a modelação é mais complexa. Em termos de *software* o mercado disponibiliza várias soluções que já integram os métodos de cálculo adoptados pela Directiva 2002/49/CE [22].

Para se proceder à análise computacional do ruído são necessários uma série de dados relativos às fontes e às características do espaço em que os sons se propagam, nomeadamente:

- a) Localização das principais fontes de ruído (industrial, tráfego rodoviário/ferroviário/aéreo);
- b) Caracterização das fontes, que segundo as “Directrizes para a Elaboração de Mapas de Ruído” [21] podem-se dividir em caracterização física (caracterização geométrica, coordenadas de pontos, tipo e número de fontes) e caracterização quantitativa, que no caso de emissões em rodovias considera os dados do número de veículos por hora e percentagem de pesados para cada período de referência, de velocidades médias, de modos de circulação (fluído, aceleração/desaceleração, não diferenciado), ou em alternativa pode-se caracterizar pelos níveis de ruído emitido por metro linear de via ( $L_w/m$ ) por banda de frequência (1/1 oitava);
- c) Dados meteorológicos, considerando as situações dominantes;
- d) Dados relativos à área em análise, tais como ortofotomapas, altimetria, planimetria, caracterização (posição, dimensão, forma e materiais absorventes/reflectores) dos obstáculos que ocupam o solo e caracterização do próprio solo.

### 3.2.1.3 – Validação dos modelos

Após a introdução e tratamento dos dados no modelo de cálculo é essencial proceder à validação do mapa de ruído obtido de modo a conferir-lhe robustez [21]. Esta validação transmite confiança para aceitar a simulação do ruído como um modelo fiável do que efectivamente se verifica na realidade e com base neste modelo validado, prever situações futuras, tais como alterações nas fontes ou eficácia de medidas para controlo do ruído, entre outras.

O princípio da validação passa por realizar uma série de medições em locais seleccionados, comparando posteriormente os valores obtidos com os valores medidos [21].

Seguindo os critérios das “Directrizes para a Elaboração de Mapas de Ruído” [21], as medições para validação do modelo podem realizar-se em locais onde predomina o ruído de uma única fonte, em zonas onde os valores previstos ultrapassam ou estão próximos dos limites regulamentares, no perímetro de zonas urbanizadas nos locais mais próximos da fonte considerada e nos locais em que foram previstos valores duvidosos.

O Regulamento Geral do Ruído [9] refere que os indicadores de ruído diurno (L<sub>d</sub>), entardecer (L<sub>e</sub>) e nocturno (L<sub>n</sub>) são determinados durante uma série de intervalos de tempo representativos de um ano, nos respectivos períodos de referência (Tabela 3.1). O item 3.9 da parte 1 da Norma 1730 descreve o conceito de “*intervalo de tempo de longa duração*” e reporta para as entidades responsáveis a fixação do referido intervalo, não referindo tempos de medição, estes são abordados nas “Directrizes para a Elaboração de Mapas de Ruído” [21] que recomenda, pelo menos, 2 dias em contínuo, sem necessidade de serem consecutivos, devem contudo corresponder a dias com situações de ruído dominantes ao longo do ano e em conformidade com as condições médias anuais que foram consideradas para o modelo.

A simulação do ruído é validada quando as diferenças entre os valores medidos e os valores simulados não ultrapassarem 2 dB(A) [21].

Tabela 3.1 - Períodos de referência definidos no Regulamento Geral do Ruído [2].

<b>Período diurno</b>	das 7 às 20 horas
<b>Período do entardecer</b>	das 20 às 23 horas
<b>Período nocturno</b>	das 23 às 7 horas

### 3.2.2 – O modelo HARMONOISE/IMAGINE para o ruído rodoviário

O projecto Europeu HARMONOISE/IMAGINE veio responder à necessidade criar novos métodos de previsão do ruído ambiental, provenientes do tráfego rodoviário e do tráfego ferroviário, que satisfizessem os requerimentos da Directiva 2002/49/CE [22].

Em vários países europeus existem métodos de previsão do ruído ambiental proveniente do tráfego rodoviário e ferroviário, no entanto estes métodos apresentam muitas lacunas tais como condições de propagação complicadas, limitações na separação entre a fonte de ruído e a propagação do mesmo, o que implica ter diferentes modelos de propagação para diferentes fontes de ruído [23]. Com este projecto foram desenvolvidos métodos de cálculo mais rigorosos, com o objectivo de permitir estimar os níveis de ruído ambiental através de métodos harmonizados a nível europeu [3].

#### 3.2.2.1 – Categorias de veículos

Cada veículo rodoviário tem características particulares, sendo impraticável analisar cada um deles individualmente [24], portanto procura-se agrupar os veículos com características similares em termos de emissão de ruído.

O modelo HARMONOISE divide os veículos em cinco categorias: categoria 1 (veículos ligeiros), categoria 2 (veículos pesados de 2 eixos), categoria 3 (veículos pesados de 3 ou mais eixos), categoria 4 (veículos especiais normalmente para uso *off-road*) e categoria 5 (veículos de duas rodas). Cada categoria é dividida em subcategorias (1a, 1b, 1c, ..., 5a e 5b) como se apresenta na Tabela 3.2. Esta classificação dos veículos foi posteriormente simplificada (consultar [25]).

Tabela 3.2 - Classes de veículos identificadas no projecto HARMONOISE [26].

Main category (type)	No.	Sub-categories: Example of vehicle types	Notes
Light vehicles	1a	Cars (incl. MPV's up to 7 seats)	2 axles, max 4 wheels
	1b	Vans, SUV, pickup trucks, RV, car+trailer or car+caravan <sup>1</sup> , MPV's with 8-9 seats	2-4 axles <sup>1</sup> , max 2 wheels per axle
	1c	Electric vehicles, hybrid vehicles driven in electric mode <sup>2</sup>	Driven in combustion engine mode <sup>2</sup>
Medium heavy vehicles	2a	Buses	2 axles (6 wheels)
	2b	Light trucks and heavy vans	2 axles (6 wheels) <sup>3</sup>
	2c	Medium heavy trucks	2 axles (6 wheels) <sup>3</sup>
	2d	Trolley buses	2 axles
	2e	Vehicles designed for extra low noise driving <sup>4</sup>	2 axles
Heavy vehicles	3a	Buses	3-4 axles
	3b	Heavy trucks <sup>5</sup>	3 axles
	3c	Heavy trucks <sup>5</sup>	4-5 axles
	3d	Heavy trucks <sup>5</sup>	≥ 6 axles
	3e	Trolley buses	3-4 axles
	3f	Vehicles designed for extra low noise driving <sup>4</sup>	3-4 axles
Other heavy vehicles	4a	Construction trucks (partly off-road use) <sup>5</sup>	
	4b	Agr. tractors, machines, dumper trucks, tanks	
Two-wheelers	5a	Mopeds, scooters	Include also 3-wheel motorcycles
	5b	Motorcycles	

<sup>1</sup> 3-4 axles on car + trailer or car + caravan

<sup>2</sup> Hybrid vehicles driven in combustion engine mode: Classify as either 1a or 1b

<sup>3</sup> Also 4-wheel trucks, if it is evident that they are >3,5 tons

<sup>4</sup> For example, there are some delivery trucks designed for extra low noise (meeting more stringent standards than the current EU limiting levels) combined with a driving mode called “whisper mode”

<sup>5</sup> If a high exhaust is noted, identify this in the test report. Categorize this as 3b', 3c', 3d' or 4a'

### 3.2.2.2 – Fontes de ruído predominantes no tráfego rodoviário urbano

Nos veículos ligeiros a circular com velocidades acima dos 30 km/h predomina o ruído de contacto piso/pneu, independentemente das condições de condução, para velocidades inferiores sobressai o ruído do motor, especialmente nas acelerações desde da velocidade zero, e nestas condições de condução as diferenças nas emissões de ruído entre veículos é bastante grande [24].

Vários testes de campo revelam que apesar de o condutor conduzir num intervalo limitado de rotações do motor, há uma tendência para altas rotações a grandes velocidades do veículo [26].

O ruído proveniente do sistema de propulsão pode ser significativo até velocidades na ordem dos 50 km/h como no caso de veículos mais antigos, carros a diesel, VANs e veículos com fraco isolamento dos ruídos de escape [24]. Para velocidades superiores, onde existe o predomínio do ruído de contacto piso/pneu e o ruído de propulsão é desprezável, as variações do ruído entre veículos da categoria 1 é mínima, com desvios padrão entre 1,2 dB(A) e 1,3 dB(A), e a origem é nos pneus [24].

A nível europeu, e relativamente aos veículos pesados mais recentes a circular com velocidades na ordem dos 50 km/h, os níveis de ruído global (pneus e motor) emitidos são bastante semelhantes, predominando para velocidades superiores o ruído de contacto piso/pneu [24].

Os veículos pesados são certificados para respeitarem determinados níveis de emissão de ruído e estes níveis são bem relacionados com as emissões específicas de cada veículo, em que os limites variam entre os 76 e os 80 dB(A) dentro das categorias 2 e 3 [24].

O ruído gerado pelo contacto piso/pneu predomina face ao ruído do motor, isto para veículos ligeiros a circular com velocidades acima dos 40 km/h ou veículos pesados (camiões e autocarros) com velocidades superiores 60 km/h [27].

O estilo de condução tem também uma especial importância no ruído gerado. Segundo Kloth *et al.* [28], a atitude dos condutores na relação entre velocidade engrenada e velocidade de circulação tem muita influência no ruído emitido pelos veículos.

O modo como o condutor lida com as condições de tráfego e condições da estrada é muito variável, uma atitude pacífica, caracterizada por acelerações e desacelerações lentas, pode representar uma significativa diminuição do ruído emitido. Em termos médios é possível reduzir as emissões de ruído em cerca de 5 dB nos veículos ligeiros e comerciais, e 7 dB nos motociclos [29].

A uma velocidade de cerca de 30 km/h o incremento na emissão de ruído provocado pela aceleração é em média de 2 dB, valor que diminui 0,5 a 1 dB para velocidades de aproximadamente 50 a 60 km/h [30].

Outro problema com grande impacto no ruído ambiente é as alterações efectuadas nos veículos, levando a que estes emitam elevados níveis de ruído. Este é um problema muito associado aos motociclos, podendo elevar os níveis de ruído em 20 dB [29].

### **3.2.2.3 – Parâmetros das fontes de ruído analisados pelo modelo HARMONOISE/IMAGINE**

No modelo HARMONOISE/IMAGINE a descrição da fonte de ruído e o som propagado são analisados separadamente, o projecto HARMONOISE criou as bases e validou um modelo de propagação mais geral, que pode ser usado para qualquer fonte de ruído (aéreo, naval, espaços de lazer, entre outros) sem muitas alterações [23].

#### **3.2.2.3.1 – Descrição da fonte de ruído**

Neste novo modelo, a análise da fonte de ruído é feita segundo uma perspectiva diferente das até então utilizadas por outros modelos, pois faz uma descrição com base em quantidades físicas conhecidas (níveis de potência sonora, direccionalidade) de forma independente das condições de propagação [23].

Foi referido, no ponto 3.2.2.2, que nos veículos rodoviários o ruído provém do contacto piso/pneu, onde se acrescenta o ruído aerodinâmico e do sistema de propulsão (motor, sistema de escape, entre outros). O modelo desenvolvido considera ainda, que em cada categoria de veículos o ruído provém de um ou dois pontos principais de emissão, posicionados como ilustra a Figura 3.2.

Para os veículos ligeiros e pesados são consideradas duas fontes, uma das fontes encontra-se a 1 cm acima do piso e outra fonte encontra-se a 30 cm para veículos ligeiros e 75 cm para veículos pesados. Nos veículos de duas rodas o único ponto de emissão localiza-se a 30 cm do pavimento.

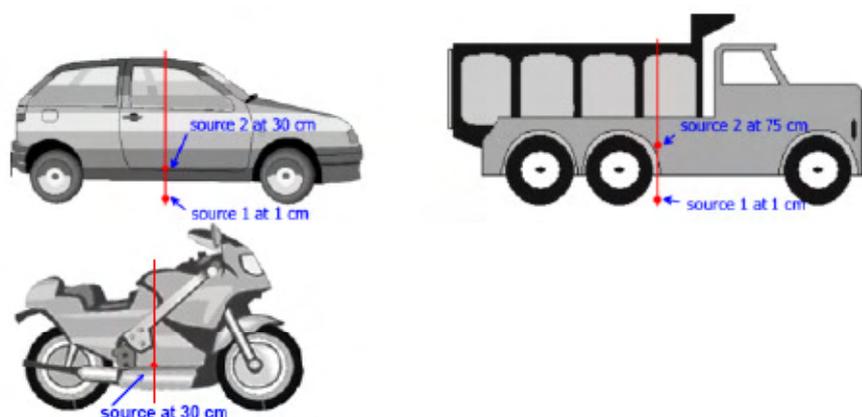


Figura 3.2 - Posição das fontes de ruído nos veículos ligeiros, pesados e motociclos [25].

O ruído de emissão ( $L_w$ ) é determinado a partir de um conjunto de equações, utilizadas no cálculo do ruído de propulsão ( $L_{wp}$ ) (equação (3.1)) e do ruído de circulação ( $L_{wr}$ ) (equação (3.2)) [26].

$$L_{WP} = A_P + B_P \cdot \frac{v - v_{ref}}{v_{ref}} \quad (3.1)$$

e

$$L_{WR} = A_R + B_R \cdot \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) \quad (3.2)$$

onde:

- $A_P, B_P, A_R$  e  $B_R$  - coeficientes dados em bandas de 1/3-oitava para cada categoria de veículos;
- $v$  - velocidade;
- $v_{ref}$  - velocidade de referência (70 km/h).

### 3.2.2.3.2 – Factores de correcção

Em condições reais de circulação, existem inúmeras variáveis que não são previstas nas duas equações (3.1) e (3.2), pois estas descrevem o nível de pressão sonora de uma média de veículos europeus sob condições normalizadas [26]. O modelo prevê a aplicação

de factores de correcção, permitindo adaptar o modelo às diferentes situações (meteorológicas, frotas de veículos, piso, entre outras) encontradas no espaço europeu.

O modelo de emissão apresentado em [26] considera assim factores de correcção para:

- 1) Categorias de veículo;
- 2) Variações regionais, especificamente para tipo de motor, idade dos veículos, relação peso do veículos / largura dos pneus (apenas para a categoria 1), percentagem de VANs na categoria 1, tipo de pneus (verão, inverno, “*studded*”) e percentagem de veículos com alterações ilegais no sistema de escape;
- 3) Condições meteorológicas, em que é considerado o efeito da temperatura e condições de piso seco/molhado;
- 4) Condições de condução com efeito na aceleração/desaceleração;
- 5) Tipos de piso.

### **3.2.3 – Medições *in situ***

#### **3.2.3.1 – Métodos de medição**

O ruído ambiente também pode ser avaliado por medições *in situ*. Este método de avaliação consiste em fazer uma série de medições num conjunto de pontos da área em estudo. Estas medições, realizadas com sonómetro e de acordo com as especificações da Norma NP1730 [19a, 19b, 19c], permitem determinar os indicadores de ruído, parâmetros estatísticos (L50, L90) e outros que caracterizem a qualidade do ambiente acústico, podendo até constituir elementos para validação de simulações de ruído, como referido no ponto 3.2.1.3 do presente capítulo. No entanto, não permite avaliar grandes áreas nem pode ser aplicado para previsões de ruído.

As medições *in situ* também possibilitam analisar os níveis de emissão sonora de fontes de ruído, como por exemplo zonas industriais, estabelecimentos de comércio e serviços, máquinas, tráfego rodoviário, entre outros. Porém, existem algumas limitações

como seja a impossibilidade de isolar ruídos indesejáveis e que afectam os resultados finais.

No caso particular do tráfego rodoviário, a análise do ruído emitido por cada veículo é difícil devido à presença dos tais ruídos indesejáveis. De forma genérica, o estudo passa por controlar o máximo de variáveis com influência no ruído em análise e investigar como este varia em função das alterações que vão sendo introduzidas na sua origem.

As medições *in situ* reúnem uma série de métodos que permitem estudar fontes de ruído muito localizadas, como sejam as variações na emissão de ruído de um veículo em circulação devido a mudanças no tipo de pneus, no tipo de piso, nas condições atmosféricas e outras.

Para a presente tese importa referir os métodos mais utilizados no estudo dos pavimentos das estradas, destacando-se os seguintes [31]:

- Método estatístico de passagem (**S**tatistical **P**ass-**B**y method, SPB);
- Método da estrada proximidade (**C**lose **P**ro**X**imity method, CPX);
- Método da passagem controlada (**C**ontrolled **P**ass-**B**y method, CPB);
- Método da superfície estendida.

Dos métodos apresentados o SPB é o único que possibilita o estudo das emissões de ruído pela passagem de vários veículos em condições normais de tráfego.

Este método, de acordo com a Norma ISO 11819-1 [32], é realizado na berma a 7,5 m do centro da via de passagem dos veículos, como ilustram as Figuras 3.3 e 3.4, e consiste na medição dos níveis de ruído máximos emitidos por passagens individuais de pelo menos 100 veículos ligeiros, 30 pesados de 2 eixos e 30 pesados com mais de dois eixos. Durante as medições é feito o controlo da temperatura do ar e do pavimento, e das velocidades dos veículos normalizadas para um dos grupos: Baixa; Média e Alta [32].

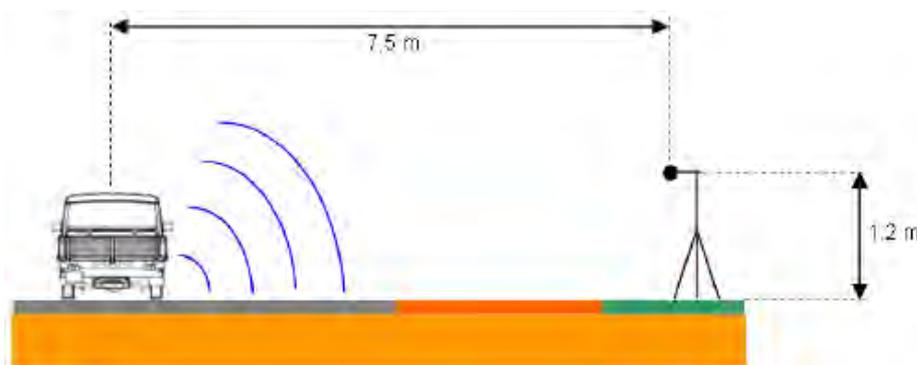


Figura 3.3 - Esquema de medição pelo método SPB [33].

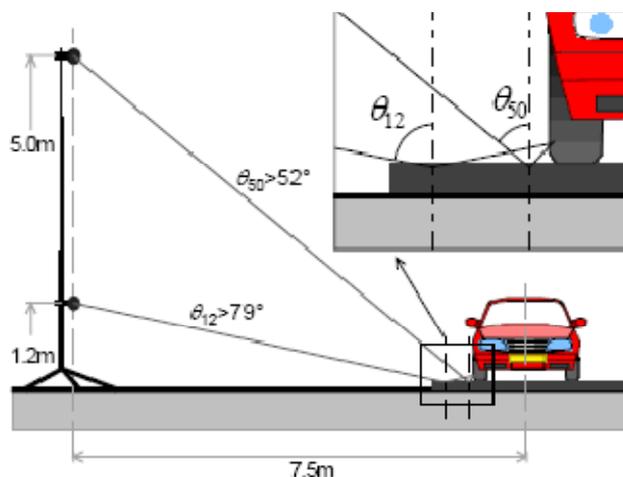


Figura 3.4 - Variante do método SPB, por utilização de dois microfones, indicado para o estudo do ruído nos pavimentos. [34].

O método SPB permite comparar o ruído produzido no contacto piso/pneu de uma determinada categoria de veículos, a circular com uma velocidade normalizada num tipo de pavimento, com o ruído produzido num pavimento de referência pela mesma categoria de veículos, com a mesma velocidade normalizada.

### 3.2.3.2- Documentos de referência para a determinação dos indicadores de ruído com base em medições

O Decreto-Lei n.º 146/2006 [18] que transpõe para legislação interna a Directiva n.º 2002/49/CE e o Regulamento Geral do Ruído [2] remetem para a norma NP1730 [19a, 19b, 19c] a definição dos procedimentos para a determinação dos indicadores de ruído ( $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$ ), os quais são calculados de acordo com o que a norma define de nível sonoro médio de longa duração, calculado pela expressão (3.3) [19b].

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right] \quad (3.3)$$

onde:

- N – número de amostras do intervalo de tempo de referência;
- $(L_{Aeq,T})_i$  – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, na amostra i, em decibel.

A referida norma encontra-se dividida em três partes, designadamente:

- Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos;
- Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo;
- Parte 3: Aplicação aos limites do ruído.

O documento “Directrizes para elaboração de mapas de ruído” [21], elaborado pelo Instituto do Ambiente, complementa a NP1730 no que se refere a medições para validação de mapas de ruído.

Com o projecto IMAGINE também foram apresentadas metodologias de determinação dos indicadores Lden e Ln, com base em medições. Essas metodologias apresentadas em [35], abordam pontos de análise que não são referidos na NP1730, tais como a avaliação da incerteza das medições, a análise diferenciada dos tipos de fonte (industrial e de tráfego rodoviário/ferroviário/aéreo), a classificação das condições meteorológicas, a determinação de Lden e Ln com base em medições de curta duração, entre outros.

### 3.3 – Medição dos sons

A função base do sonómetro é a medição dos níveis de pressão sonora instantâneos, em dB(A), no entanto existem alguns designados de sonómetros integradores, que permitem a determinação de outros parâmetros, como o nível sonoro contínuo equivalente (Leq), percentis, níveis de exposição sonora, índices de impulsividade, entre outros; possibilitado também a análise do espectro de frequências. O sonómetro é portanto uma ferramenta de trabalho na avaliação do ruído ambiente, na caracterização das emissões sonoras de uma fonte, na verificação dos limites legais à emissão de ruído, no controlo do

ruído em locais de trabalho, entre outras inúmeras situações em que se pretenda determinar parâmetros acústicos.

### 3.3.1 – Classes de sonómetros

Os sonómetros devem verificar as normas, tais como a ANSI S1.4, no caso americano, ou as internacionais IEC 60651, IEC 60804 e mais recentemente a IEC 61672, que vem substituir as IEC 60651/60804 [41]. Estas normas classificam os sonómetros quanto às tolerâncias permitidas nas medições. Segundo a norma portuguesa NP3496:1988, os sonómetros classificam-se em função da sua precisão nas seguintes classes [42]:

- Classe 0: padrão de laboratório;
- Classe 1: de precisão;
- Classe 2: aplicações gerais;
- Classe 3: para estimativas e acções de fiscalização.

A medição do ruído ambiente deve-se realizar com sonómetros da classe 1, ou pelo menos da classe 2 [19a]. A classe 1 e 2 tem uma tolerância, definida pela IEC 60651, de +/- 0.7 dB(A) e +/- 1.0 dB(A) respectivamente, estas tolerâncias variam dependendo da frequência do som que é medido; relativamente à classe 3 de precisão, esta foi eliminada pela nova norma IEC 61672 [41].

Os calibradores utilizados para aferir a precisão do sonómetro, também são classificados por classes e devem estar em conformidade com a norma IEC 60942 [43].

### 3.3.2 – Funcionamento do sonómetro

O sonómetro possui um microfone que detecta as pequenas variações de pressão provocadas por ondas sonoras e converte-as num sinal eléctrico. Este sinal é pré-amplificado passando posteriormente por circuitos de ponderação e/ou filtros.

Os circuitos de ponderação alteram o sinal eléctrico, com base nas malhas de ponderação (A, B e C), de modo a que o sonómetro tenha uma resposta idêntica à sensibilidade do ouvido humano. Por sua vez, os filtros rejeitam todo o sinal que não pertença às bandas do espectro de frequências seleccionado.

O sinal é novamente amplificado, passando posteriormente por um detector de RMS que determina o valor de RMS (*root mean square*). A sensibilidade do detector de RMS face às variações do sinal é definida pela ponderação de tempo.

Existem três ponderações de tempo, *Slow* (1s), *Fast* (0,125s) e *Impulse* (0,035s) [36], alguns sonómetros ainda conseguem medir a pressão sonora de pico (*peak*), que corresponde ao valor máximo de pressão sonora registado durante a medição e que não é determinado pela RMS.

Os valores medidos surgem no mostrador do sonómetro após todo o tratamento interno, com possibilidade de poderem ser guardados na memória ou transmitidos em tempo real para um computador, para posterior análise dos dados.

Para além da medição dos níveis de pressão sonora, alguns sonómetros ainda permitem determinar parâmetros acústicos, tais como as características impulsivas do som num intervalo de tempo, parâmetros estatísticos (L10, L50, L90), nível de exposição sonora (SEL), níveis de pressão sonora equivalentes com tempos de integração definidos pelo utilizador e outros.

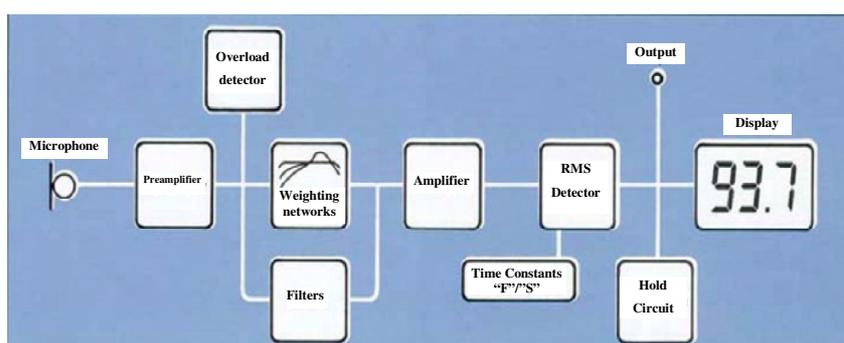


Figura 3.5 - Esquema de funcionamento do sonómetro [36].

### 3.3.3 – Procedimentos de medição: Regras básicas

As medições são realizadas de acordo com um plano previamente elaborado e que deve conter a localização dos pontos de avaliação, seleccionados segundo os critérios apresentados em [21], ou outro devidamente explicado. O plano deve ainda referir quais os descritores acústicos, o tipo de resposta (*Slow*, *Fast* ou *Impulse*), as horas e tempos de medição, que dados recolher dos pontos de medição, entre outras referências importantes, dependendo do estudo que se pretenda.

Durante as medições devem ser tomados alguns cuidados de modo a evitar fenómenos acústicos indesejáveis, sobretudo deve-se garantir um suporte fixo para o sonómetro e posicioná-lo de modo a ficar afastado das superfícies reflectoras (no mínimo 1,2 m do solo e 3,5 m de paredes de edifícios ou muros), o operador deve manter-se a uma distância de pelo menos 50 cm em relação ao sonómetro.

No local deve-se identificar a origem do ruído que se pretende estudar e orientar o sonómetro directamente para a fonte, no caso de microfones com resposta de campo livre, ou num ângulo de 70° a 80°, caso seja um microfone de incidência aleatória [36].

A utilização de pára-vento no microfone é imprescindível em medições no exterior.

Os dados que devem constar no relatório de medição, são referidos na NP1730 [19a, 19b, 19c].

## **CAPÍTULO 4 – METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO ENVOLVENTE**

### **4.1 – Considerações Gerais**

Pretende-se com este trabalho caracterizar o ruído emitido por veículos rodoviários, através de uma série de medições num troço da EN109 em Vagos.

Do Capítulo 3 ficou presente a necessidade de se validarem, com base em medições que sejam representativas de um ano, os indicadores de ruído previstos por métodos de cálculo. Estas medições devem, segundo [21], corresponder a pelo menos 2 dias em contínuo.

Do mesmo capítulo verificou-se ainda, que a atitude do condutor perante determinadas condições de estrada e de tráfego pode influenciar no ruído emitido.

Neste capítulo pretende-se apresentar o troço da EN109 em estudo, bem como as metodologias de medição adoptadas para medir os níveis de ruído ao longo de 24 horas e os procedimentos para determinar os níveis de ruído emitidos na passagem de veículos em vários pontos de medição, com diferentes condições de circulação, o objectivo é identificar alterações nas características do ruído do ruído emitido.

### **4.2 – Caracterização geral da zona em estudo**

Vagos é uma vila e sede de concelho que foi crescendo ao longo do principal eixo rodoviário, a EN 109. Segundo os censos de 2001, vivem no município 22017 habitantes, e vem-se verificando um aumento populacional, o qual se expressa no crescimento dos aglomerados habitacionais, que se desenvolvem ao longo das vias de comunicação, levantando desde logo a um conjunto de dificuldades na ordenação do território, devido à baixa estruturação urbana [37].

O Concelho de Vagos tem uma área de 165 km<sup>2</sup> que se insere na sub-região do Baixo Vouga, ficando situado a cerca de 10 km a sudoeste da cidade de Aveiro. O seu

desenvolvimento socioeconómico assenta no crescimento da indústria e do sector dos serviços [38], para os quais muito contribui o facto de o concelho ser abrangido por eixos rodoviários importantes, nomeadamente a EN109 na ligação Norte/Sul do concelho, a EN333 que permite a ligação à A17, bem como a proximidade com a A1.

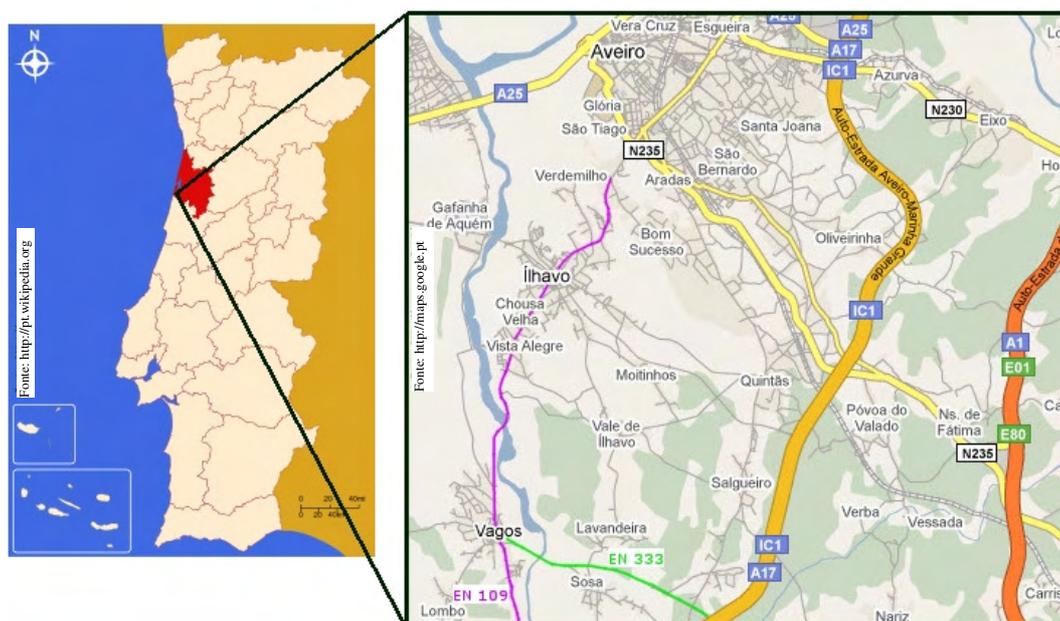


Figura 4.1 – Localização de Vagos e proximidade das principais vias.

A EN109 e a A17 são estruturantes no desenvolvimento de Vagos, mas também são as suas maiores fontes de ruído. A ligação da EN333 à A17 permitiu diminuir o tráfego na EN109, no entanto esta continua a ser uma via de ligação à zona industrial de Vagos e de aproximação das zonas industriais a norte e a sul do concelho, registando um tráfego aproximado de 550 veículos ligeiros e 20 veículos pesados por hora.

Na zona de Vagos não existem outras fontes de ruído com impacto significativo nas populações. A zona industrial não representa uma fonte de ruído para as populações, pois encontra-se afastada cerca de 2 km dos aglomerados habitacionais.

### 4.3 – Equipamento de medição

Em todas as medições utilizou-se um sonómetro integrador da CESVA, modelo SC130, da classe 1de precisão, capaz de medir todos os parâmetros simultaneamente com

as ponderações de frequências A, C e Z, e com as ponderações de tempo *Slow*, *Fast* e *Impulse*.

O sonómetro possui três modos de funcionamento, nomeadamente modo sonómetro, modo analisador 1/1 oitava e modo analisador 1/3 de oitava, com possibilidade de definir tempos de integração a partir de 1 segundo.

Utilizou-se um microfone de condensador de 1/2” e para verificação da sua sensibilidade utilizou-se um calibrador acústico classe 1.

A transferência dos dados para o computador fez-se pelo *software* “CAPTURE Studio” fornecido pela CESVA e o tratamento dos dados fez-se no Excel.

## **4.4 – Metodologias de medição**

### **4.4.1 – Medições de longa duração**

Com as medições de longa duração pretende-se estudar de que forma os níveis de ruído variam durante o dia e determinar os indicadores de ruído Ld, Le, Ln, para os respectivos períodos de referência, de acordo com o definido na NP 1730 [19a, 19b, 19c] para nível sonoro médio de longa duração (ver expressão 3.3 do Capítulo 3).

O parâmetro acústico a medir é o nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado A, num tempo de integração de 5 minutos (LAeq,5). O tempo de integração que se adoptou permite isolar em amostras de 5 minutos situações particularmente ruidosas, não sendo contudo esperadas grandes variações no tráfego rodoviário durante esses períodos de tempo relativamente curtos.

O sonómetro permite medições contínuas com definição dos tempos de integração, assim obtém-se amostras de LAeq,5 consecutivas abrangendo todo o período de medição. Sempre que possível, fez-se 2 dias de medições em contínuo.

O controlo das condições meteorológicas fez-se através da estação meteorológica da Câmara Municipal de Vagos [39]. Procurou-se verificar acima de tudo, se as condições de vento na região não comprometem os resultados das medições, definindo-se 3,0 m/s como limite máximo para a velocidade de vento.

Para se evitar a influência de outros factores atmosféricos, fizeram-se as medições em condições meteorológicas estáveis, dias de céu limpo e temperaturas a variar aproximadamente entre os 25°C durante o dia até um mínimo de 10°C durante a noite.

As medições realizaram-se a 3 metros da fachada dos edifícios, posicionando o microfone como ilustra a Figura 4.2.



Figura 4.2 – Posicionamento do microfone na fachada do edifício.

Utilizou-se em todas as medições um pára-vento para protecção do microfone.

Antes e após cada medição verificou-se a sensibilidade acústica do sonómetro tendo-se registado em todas as medições, desvios inferiores a 0,3 dB relativamente ao valor de referência do calibrador.

#### **4.4.2 – Medições com identificação dos veículos**

Para analisar o ruído emitido pelos veículos é necessário que se registem os níveis máximos de pressão sonora e se identifique o(s) veículo(s) que os produzem.

O método SPB, apresentado no Capítulo 3, permite estudar os veículos em condições normais de tráfego, no entanto só considera veículos que passem isolados no ponto de medição, sendo inclusive difícil reunir em meio urbano as condições que a norma estabelece, nomeadamente as distâncias mínimas entre superfícies reflectoras, a distância do sonómetro ao veículo e as diferentes condições de circulação.

Relativamente à identificação dos veículos, existem várias tecnologias para detecção do tráfego que permitem controlar vários parâmetros tais como, volume de

tráfego, velocidade, categoria de veículos, entre outros. Em [40] são apresentados os vários tipos de detectores de tráfego indicados na Tabela 4.1.

No âmbito deste trabalho, pretende-se um método que permita a identificação da categoria de veículos e que possibilite associar a passagem do veículo com os níveis sonoros registados pelo sonómetro. A solução adoptada foi a filmagem de todos os veículos que passaram no ponto de medição, sincronizando os registos em vídeo com os dados do sonómetro, como a seguir se explica no ponto 4.4.2.1.

Tabela 4.1 – Tipos de detectores de tráfego [40].

<b>Intrusivos</b>	<b>Não intrusivos</b>
<i>Pneumatic Tube (1-tube)</i>	<i>Passive IR</i>
<i>Pneumatic Tube (2-tube)</i>	<i>Active IR</i>
<i>Inductive Loop (1-loop)</i>	<i>Ultrasonic (Presence)</i>
<i>Inductive Loop (2-loop)</i>	<i>Ultrasonic (Doppler)</i>
<i>Inductive Loop (3-loop)</i>	<i>Passive Acoustic</i>
<i>Magnetometer</i>	<i>Microwave Radar</i>
<i>Passive magnetic</i>	<i>Microwave Radar (Doppler)</i>
<i>Weigh-In-Motion</i>	<i>Microwave Radar (FMCW)</i>
	<i>Laser (Presence)</i>
	<i>Laser (Speed)</i>
	<i>Laser (Entry control)</i>
	<i>Laser (Open path)</i>
	<i>CCTV + VIP</i>
	<i>ANPR</i>

#### **4.4.2.1 – Procedimentos de medição**

Na medição do ruído emitido pela passagem dos veículos, utilizou-se um sonómetro no modo analisador 1/3 de oitava, configurado para o tempo de integração de 1 segundo. Assim o sonómetro regista o LAeq em cada segundo de medição e o nível de pressão sonora equivalente em cada banda de 1/3 de oitava, sem aplicar nenhuma malha de ponderação (A, C, Z) nas bandas de frequências. A ponderação de tempo é *Fast* (0,125s), isto implica que o LAeq obtido em cada segundo é determinado com base em 8 medições de 0,125s.

Em todos os pontos de medição montou-se o sonómetro num tripé, com o microfone direccionado para a fonte sonora e de modo a ficar posicionado a 1,2 m do pavimento e a 1,5m da berma da estrada.

O afastamento relativamente às superfícies reflectoras (paredes de edifícios e muros) deve, de acordo com a NP1730 [19a, 19b, 19c], ser superior a 3,5 m, no entanto procurou-se realizar as medições em locais sem obstáculos reflectores a menos de 5 m.

Atrás do sonómetro colocou-se uma máquina fotográfica digital (modelo Sony DSC-W120), a funcionar no modo de filme. A Figura 4.3 esquematiza o posicionamento da estação de medição na berma da estrada.

Todas as medições realizaram-se em condições atmosféricas idênticas, isto é, vento fraco com direcção predominantemente Norte-Sul (longitudinal à estrada), temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e céu limpo. A humidade relativa (cerca de 45%) e a pressão atmosférica (1017mb) foram medidos na estação meteorológica de Vagos [39].

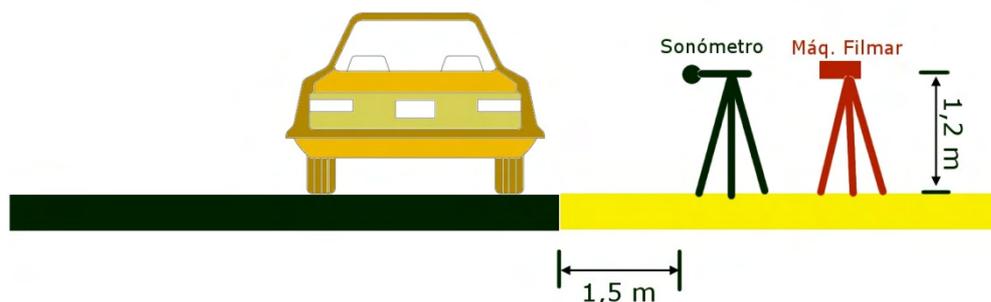


Figura 4.3 – Esquema de posicionamento do equipamento na berma da estrada.

O sonómetro não permite visualizar o tempo decorrido desde o início da medição, assim utilizou-se um cronómetro para registar esse tempo, adiante designado de tempo de referência. No preciso momento em que se dá início e fim à medição regista-se o tempo de referência.

Após o início da medição dá-se início à filmagem dos veículos que passam no local de medição, apontando igualmente o tempo de referência de início e fim do filme.

Durante as medições são apontados os tempos de referência no momento da passagem de veículos particularmente ruidosos, principalmente veículos da categoria 3. O

registo da passagem do veículo faz-se quando este se encontra posicionado na frente do sonómetro como ilustra a Figura 4.4.



Figura 4.4 – Posicionamento do veículo face ao sonómetro.

Foram identificados e registados, relativamente ao tempo de referência, todos os ruídos exteriores ao ruído de tráfego e que possam influir nos resultados das medições.

A determinação das velocidades de circulação fez-se com várias passagens de carro pelos pontos de medição, verificando que velocidades máximas se podem atingir em segurança e compatíveis com as condições de tráfego, sem que se tenha uma condução agressiva, marcada por fortes acelerações e travagens.

Em cada ponto de medição realizaram-se no mínimo 30 minutos de medições.

#### **4.4.2.2 – Tratamento dos dados**

Procedeu-se à identificação de todos os veículos filmados durante as medições. A categoria do veículo é definida pela Tabela 3.2 apresentada no Capítulo 3, fazendo-se o registo do veículo quando este se posiciona em frente ao sonómetro (ver Figura 4.4). A posição do veículo relativamente a outros é definida pelo tempo decorrido no filme. Assim a “distância” entre veículos é medida em segundos.

A visualização do filme pode ser feita segundo a segundo, sendo possível identificar todos os veículos, no entanto nem todos ficam centrados em frente ao sonómetro, isto acontece mais frequentemente para veículos que circulam com uma

velocidade elevada ou em veículos da categoria 5, levando a que o registo seja feito no segundo antes ou imediatamente a seguir à passagem do veículo.

Após a identificação de todos os veículos no filme, organizaram-se os dados das medições num ficheiro *Excel*, na primeira coluna colocou-se o tempo de referência; na coluna seguinte identificou-se o filme, posicionando-o relativamente ao tempo de referência; na terceira coluna assinalaram-se os veículos identificados durante a medição; nas cinco colunas seguintes fez-se a contagem dos veículos de cada categoria, que se identificaram no filme e que passaram no ponto de medição em cada segundo de referência; nas restantes colunas foram colocados os valores medidos, posicionados relativamente ao tempo de referência.

Posteriormente verificou-se o alinhamento dos níveis sonoros equivalente máximos, com os veículos mais ruidosos identificados durante as medições, caso não estivessem, deslocavam-se todos os veículos simultaneamente até coincidirem. Em última análise, verificou-se se os níveis sonoros equivalentes variam de acordo com o posicionamento dos veículos identificados.

Na Tabela 4.2 apresenta-se uma fracção de tabela onde se fez o alinhamento dos veículos identificados durante a medição (assinalado a verde na terceira coluna) com os valores máximos de LAeq registados pelo sonómetro.

Tabela 4.2 – Sincronização da passagem dos veículos com os dados do sonómetro.

Tempo de Referência [segundos]	Filme	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	LAeq [dB(A)]
250	1						68,0
251	1						75,0
252	1			1			80,8
253	1						75,2
254	1						74,9
255	1	1					78,2
256	1						66,5
257	1						63,4
258	1						62,8
259	1						64,0
260	1						71,5
261	1	1					78,4
262	1						72,6
263	1	1					75,8
264	1	1					74,5

#### **4.4.2.2.1 – Erros de sincronização**

O registo da passagem do veículo faz-se quando este se encontra centrado em frente ao sonómetro, no entanto nem sempre se verifica o nível máximo de ruído coincidente com o segundo de passagem do veículo, tal situação pode dever-se a diversos factores, tais como:

- Tempo de reacção no registo do tempo de referência, no momento da passagem do veículo;
- Velocidade do veículo;
- Acelerações/desacelerações, antes ou depois da passagem elevando os níveis de ruído;
- Ruídos provenientes de cargas transportadas;
- Entre outros.

Nos casos em que se verifiquem desfasamentos superiores a 2 segundos, entre a posição do valor máximo do nível de ruído e a posição do veículo, este não se considera para o estudo.

#### **4.4.2.2.2 – Classificação dos veículos em termos de proximidade relativamente a outros**

Os níveis de ruído produzidos pela passagem de veículos a circular na corrente de tráfego são registados pelo sonómetro a cada segundo e os veículos são registados em vídeo, como anteriormente referido. A sincronização entre os registos do sonómetro com os registos em vídeo permite associar um LAeq e um espectro de frequências a um veículo ou a um conjunto de veículos.

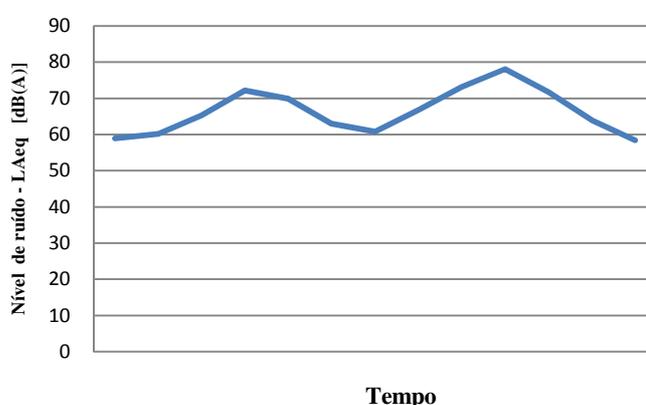
O estudo do LAeq e do espectro de frequências só tem interesse se estes poderem ser associados a um veículo de uma determinada categoria ou a vários veículos da mesma categoria a circularem próximos uns dos outros, porque se espera que tenham espectros de frequências idênticos. É assim importante, para o presente estudo, classificar os veículos quanto às condições de isolamento relativamente aos restantes veículos.

4.4.2.2.1 – Veículos isolados

Considera-se que um veículo circula isolado, quando está suficientemente distante dos restantes veículos, de tal modo, que o aumento de LAeq deve-se à passagem dessa determinada viatura sem influência de outras em circulação próxima ou de ruídos externos à via. O valor de LAeq referente à passagem de um veículo isolado aumenta progressivamente até atingir o valor de pico junto ao sonómetro e diminui após a sua passagem, como se exemplifica na Figura 4.5 referente a uma amostra retirada da medição P1.

TEMPO [s]	VEÍCULOS	LAeq [dB(A)]
920		58,9
921		60,2
922		65,3
923	1	72,2
924		69,9
925		63,0
926		60,8
927		66,8
928		73,1
929	1	78,1
930		71,7
931		64,0
932		58,4

(a)



(b)

Figura 4.5 – (a) Tabela com uma amostra da variação do LAeq face à passagem de dois veículos isolados. (b) Representação gráfica da variação do LAeq.

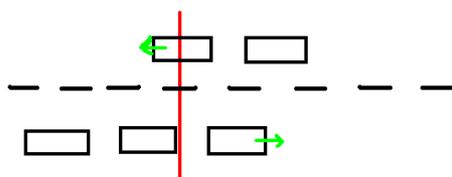
No caso particular dos veículos pesados, considera-se que circulam isolados, sempre que o valor registado se refira a um veículo da categoria 3 juntamente com outro da categoria 1, no máximo, independentemente de circular em no mesmo sentido ou não. Além disso, o ruído proveniente do veículo pesado tem de ser claramente superior ao veículo ligeiro que circula próximo, esta distinção faz-se por análise subjectiva do registo em vídeo da passagem dos veículos.

Há casos em que se classificam os veículos como isolados, mas que no entanto estão relativamente próximos (3 ou 4 segundos) de outros veículos, sem que se tenha verificado uma significativa diminuição de LAeq (mais de 6 dB) entre duas passagens consecutivas, nesta situação o veículo passa no ponto de medição quando ainda existe ruído proveniente de outros veículos, mas prevalece o facto da passagem desse veículo em

questão provocar o aumento dos níveis de ruído e portanto há interesse no âmbito deste trabalho.

#### 4.4.2.2.2 – Veículos próximos

Considera-se que dois veículos ou mais estão próximos sempre que sejam da mesma categoria e não estejam afastados mais que dois segundos entre eles, aquando da passagem junto ao sonómetro, independentemente do sentido em que se deslocam. Na Figura 4.6 estão esquematizados cinco veículos a circular próximos, a linha a vermelho, que corresponde à mesma linha apresentada na Figura 4.4 e assinala a altura em que se faz o registo da passagem.



**Figura 4.6 – Esquema de exemplificativo da passagem de veículos registados a passar próximos de outros da mesma categoria.**

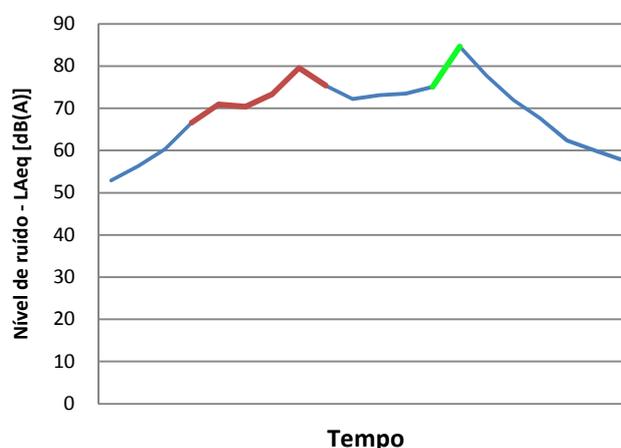
Na Figura 4.7 apresenta-se um exemplo retirado da medição P1, onde são considerados dois conjuntos de veículos próximos, sendo apresentadas as variações de LAeq com a passagem de sete viaturas da categoria 1. Pelo critério de proximidade adoptado, os cinco primeiros veículos passaram próximos, atingindo o pico de LAeq no segundo 196; os dois veículos seguintes também se encontravam perto um do outro, mas ambos suficientemente distantes dos cinco primeiros permitindo que se considere um grupo de veículos distinto.

No momento da passagem do segundo grupo de veículos, assinalado a verde, o ruído produzido pelo primeiro grupo ainda se faz sentir, no entanto não é determinante para o aumento do LAeq verificado aquando da passagem do segundo grupo, caso tal aumento não se tivesse verificado, quereria dizer que o ruído produzindo na passagem dos dois últimos veículos não era mais intenso que o ruído já instalado, pelo que não se consideraria esses veículos para estudo.

Esta situação é idêntica à anteriormente apresentada para os veículos isolados.

TEMPO [s]	VEÍCULOS	LAeq [dB(A)]
189		52,9
190		56,3
191		60,3
<b>192</b>	<b>1</b>	<b>66,6</b>
<b>193</b>	<b>1</b>	<b>70,9</b>
<b>194</b>		<b>70,4</b>
<b>195</b>	<b>1</b>	<b>73,3</b>
<b>196</b>	<b>1</b>	<b>79,5</b>
<b>197</b>	<b>1</b>	<b>75,4</b>
198		72,2
199		73,1
200		73,5
<b>201</b>	<b>1</b>	<b>75,1</b>
<b>202</b>	<b>1</b>	<b>84,6</b>
203		77,7
204		72,0
205		67,7
206		62,4
207		60,1
208		57,9

(a)



(b)

Figura 4.7 – (a) Tabela com uma amostra da variação de LAeq face à passagem de sete veículos da categoria 1. (b) Representação gráfica da variação de LAeq.

#### 4.4.2.2.3 – Veículos não considerados para estudo

Todas as viaturas que não se enquadrem na classificação de veículos isolados ou veículos próximos, bem como os veículos em que os níveis de ruído podem estar a ser influenciados por fontes de ruído externas ao tráfego rodoviário ou quaisquer outros casos particulares que não correspondam a condições normais de circulação ou de níveis de ruído, não serão considerados para o presente estudo ou serão analisados de forma particular.

## 4.5 – Selecção e caracterização dos pontos de medição

Para estudar o ruído de tráfego, considerou-se um troço da EN109 com 1,9 km de extensão e que atravessa a vila de Vagos abrangendo diferentes condições de circulação. Assim, seleccionaram-se três pontos para medição dos níveis de ruído ao longo do dia e mais cinco pontos onde se pretendeu medir as variações dos níveis de ruído no momento da passagem dos veículos.

A Figura 4.8, é uma imagem aérea da vila de Vagos, obtida em Junho de 2004, e onde se assinala o troço da EN109 em estudo, bem como a posição dos pontos seleccionados. Os três pontos onde foram efectuadas as medições de longa duração, são adiante designados de PI, PII e PIII, os restantes cinco pontos, onde se efectuaram medições aos níveis de ruído emitidos pela passagem de veículos, são designados de P1, P2, P3, P4 e P5.



Figura 4.8 – Posicionamento dos pontos de medição ao longo do troço da EN109 em estudo.

### 4.5.1 – Critério de selecção

As medições de longa duração visam avaliar duas situações, a primeira corresponde condições de circulação com muito baixa densidade do tráfego e velocidades superiores a 50 km/h, condições observáveis em PI; a segunda situação corresponde ao aumento da densidade do tráfego e velocidades de circulação próximas dos 50 km/h, condições observáveis em PII e PIII.

Nas medições com identificação dos veículos procurou-se considerar quatro diferentes condições de circulação, designadamente:

- 1) Circulação em estrada livre, com baixa densidade de tráfego, em P1 e P2;
- 2) Circulação em meio urbano, velocidades inferiores a 50 km/h, em P3;
- 3) A presença de um entroncamento sinalizado por semáforos em P4;
- 4) A presença de uma rotunda em P5.

#### 4.5.2 – Pontos de medição PI, P1 e P2

As condições de tráfego nos pontos de medição PI, P1 e P2, caracterizam-se por uma baixa densidade de tráfego, circulação fluida, com velocidades na ordem dos 60 a 70 km/h para veículos ligeiros e no máximo de 50 km/h para veículos pesados.

Entre o ponto P1 e P2 encontra-se um cruzamento com radar a limitar a velocidade a 50 km/h, no entanto o desenvolvimento rectilíneo da estrada e o pouco volume de tráfego facilitam a circulação a velocidades superiores.

O ponto P1 encontra-se rodeando por árvores, sendo o tráfego rodoviário a única fonte de ruído.



Figura 4.9 - Fotografia do local de medição P1.

O microfone no ponto de medição PI posiciona-se a cerca de 7,5 m acima do plano da estrada e a 6 metros da berma. Na Figura 4.10 apresenta-se um esquema do seu posicionamento.

Na data da medição o tráfego era a única fonte de ruído, havendo contudo algum ruído pontual devido à entrada e saída de veículos do estacionamento em frente ao edifício.



Figura 4.10 - Pontos P2 e PI, e esquema do posicionamento do microfone na medição em PI.

### 4.5.3 – Pontos de medição PII, PIII e P3

Nas zonas de medição de PII, PIII e P3 os veículos circulam com velocidades até cerca 50 km/h. Junto a PII e P3 há maior densidade de tráfego devido à presença de um cruzamento sinalizado por semáforos, com ligação à EN333.

O ruído do tráfego rodoviário é predominante, face ao ruído emitido por estabelecimentos de comércio e serviços que se localizam no ponto de medição PII; o mesmo se verifica no ponto PIII, onde o toque do sino na igreja é a única fonte sonora identificada que se sobrepõe ao ruído do tráfego durante alguns segundos por hora.

A poucas centenas de metros do local de medição, encontram-se os bombeiros voluntários de Vagos, há portanto a possibilidade de ruído devido a sirenes.

Na zona de medição PII e P3 a estrada tem 3 vias de circulação totalizando uma largura de 10,5 m e a circulação nas duas vias mais próximas de PII faz-se no mesmo sentido. Em PIII a largura da estrada é de 11 m e a circulação faz-se por duas vias, dois sentidos.

O microfone em PII e PIII posiciona-se a cerca de 5 m de altura, sendo que em PII o microfone avança 1,8 m por cima da estrada e em PIII fica a cerca de 1 m da berma da mesma.

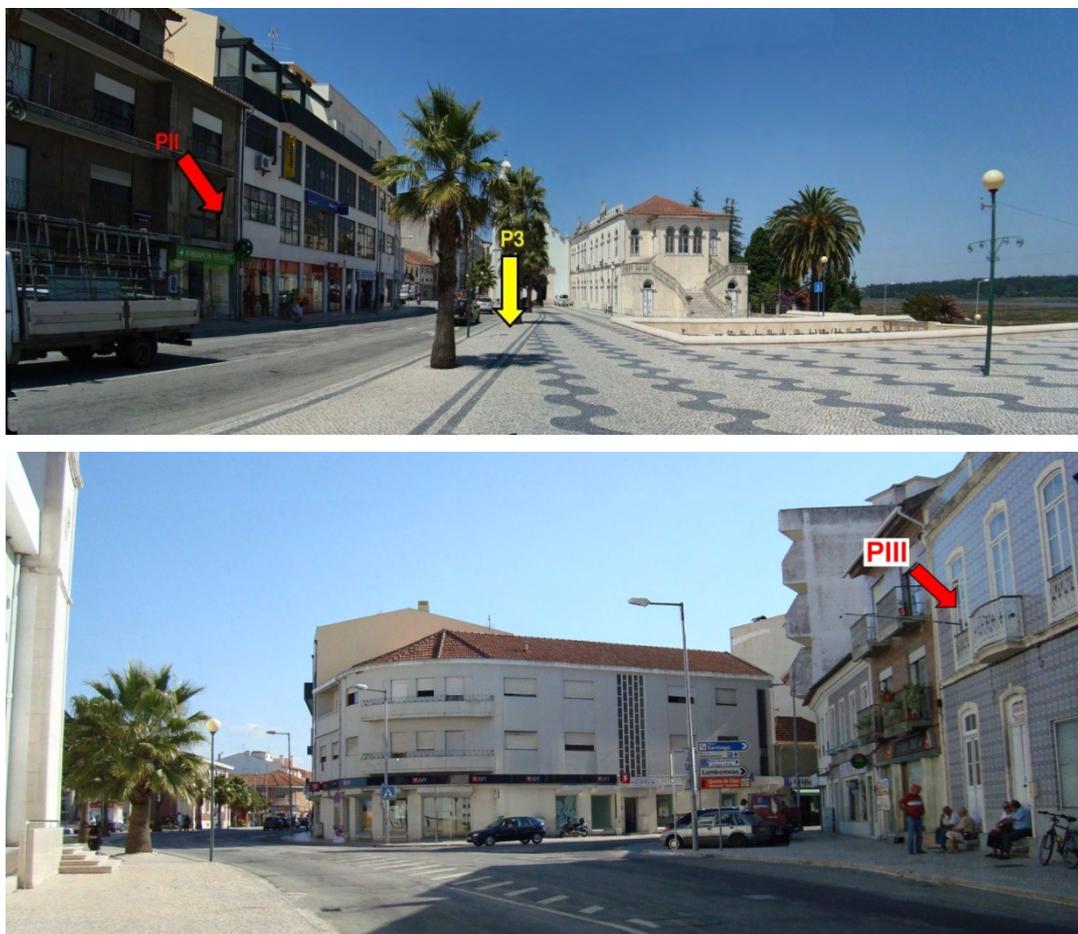


Figura 4.11 - Fotografias dos locais de medição PII, P3 e PIII.

#### 4.5.4 – Ponto de medição P4

A zona de medição P4 é um entroncamento com sinalização por semáforos, o que implica que circulação ao longo da EN109 seja periodicamente interrompida, favorecendo o agrupamento dos veículos.

As características de condução nesta zona são muito variáveis, verificando-se períodos de condução a baixa velocidade, com acelerações lentas devido a congestionamentos pontuais nas mudanças de direcção, alternado com baixas velocidades e fortes acelerações quando é retomada a marcha.

A circulação faz-se a velocidades inferiores a 40 km/h, podendo aumentar nos casos em que as condições de tráfego permitem uma circulação fluida.

O sonómetro posiciona-se a mais de 5 m dos edifícios circundantes, estando mesmo livre de superfícies reflectoras pela parte de trás.

A identificação dos veículos fez-se apenas para aqueles que circulam ao longo da EN109 ou que mudam de direcção para o centro de Vagos, como o veículo azul que se identifica na fotografia da Figura 4.12.

O tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído no local.



Figura 4.12 - Fotografia panorâmica do local de medição P4.

#### 4.5.5 – Ponto de medição P5

No ponto de medição P5 a estrada tem 10m de largura e a superfície reflectora mais significativa é o edifício que se identifica na Figura 4.13.

Relativamente às condições de circulação verifica-se a pouca densidade de tráfego, velocidades de circulação inferiores a 50 km/h e aumento do factor aceleração/desaceleração, devido à saída e entrada na rotunda. O tráfego rodoviário é a única fonte de ruído no local.



Figura 4.13 - Fotografia panorâmica do local de medição P5.

#### 4.5.6 – Características do pavimento

O estado de conservação do pavimento é bastante variável ao longo do troço em estudo, por cada 25m de estrada observam-se zonas de piso regular e zonas com fendilhação em “pele de crocodilo”, este problema no pavimento verifica-se com mais frequência entre os pontos P2 e P5.

No ponto P1 o pavimento é mais uniforme, apresentando inclusive mais rugosidade em relação ao pavimento nos restantes pontos de medição.

Na escolha dos locais procurou-se evitar as zonas em que o pavimento se apresentava muito degradado.



Figura 4.14 - Pavimento no ponto de medição P1 (esquerda) e pavimento degradado no ponto de medição P3 (direita).

## CAPÍTULO 5 – CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO NUM INTERVALO DE TEMPO DE LONGA DURAÇÃO

### 5.1 – Considerações Gerais

No Capítulo 3 referiu-se que os indicadores de ruído ( $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$  e  $L_{den}$ ) poderiam ser determinados por métodos de cálculo ou por medições *in situ*. No entanto, a determinação por métodos de cálculo requer que estes sejam validados, através de medições em intervalos de tempo de longa duração. Para se considerar um intervalo de tempo de longa duração, para efeitos de validação de previsões de ruído, são recomendadas medições em contínuo, em pelo menos 2 dias, abrangendo desde logo todas as flutuações de ruído que se possam verificar ao longo do dia [18].

No caso de se pretender estudar o ruído numa determinada zona à escala do Plano de Pormenor, para por exemplo avaliar o impacte ambiental de uma operação urbanística ou para fins de licenciamento de estabelecimentos comerciais, é frequente a determinação dos indicadores de ruído com base em medições, considerando intervalos de medição de longa duração que não abrangem a totalidade dos períodos de referência. Isto implica que a escolha dos intervalos de tempo das medições e as horas em que são realizadas devem abranger todas as variações significativas dos níveis de ruído, caso contrário, poderá levar a grandes diferenças nos indicadores  $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$  e  $L_{den}$ , quando comparado com o valor que se obteria considerando o tempo de medição igual à duração do período de referência.

Pretende-se neste capítulo estudar a variação do ruído em três pontos de medição e ao longo de um período de pelo menos 24 horas, caracterizando-o quanto aos indicadores de ruído e espectros de frequências.

Pretende-se ainda avaliar as diferenças no indicador  $L_{den}$ , entre ser calculado com base em medições contínuas em todos os períodos de referência ou ser calculado com base em medições parciais, abrangendo parte de cada período de referência.

## 5.2 – Apresentação dos resultados

Efectuaram-se as medições de acordo com as metodologias apresentadas no Capítulo 4, no que se refere a medições de longa duração.

Das medições obtiveram-se os seguintes parâmetros acústicos:

- LAeq,T** - Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, com tempo de integração T;
- LAIT** - Nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação de tempo 'T' e tempo de integração T;
- LAFmáx** - Nível de pressão sonora máximo, com ponderação de tempo 'F';
- LASmáx** - Nível de pressão sonora máximo, com ponderação de tempo 'S';
- LAImáx** - Nível de pressão sonora máximo, com ponderação de tempo 'I';
- LAeq,T\_f** - Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, com tempo de integração T em cada banda de 1/3 de oitava.

Nos pontos de medição realizaram-se uma ou mais medições e para se identificar cada medição acrescentou-se à designação do ponto, M1 ou M2, quer se trate da medição 1 ou medição 2 respectivamente. Assim, a primeira medição no ponto PI identifica-se por PIM1.

Para cada medição obtiveram-se n amostras de LAeq,5, para se identificar cada amostra acrescentou-se um número, deste modo a primeira amostra da medição PIM1 identifica-se como PIM1-1, a segunda amostra é PIM1-2 e assim sucessivamente.

Na Tabela 5.1 são indicadas as medições realizadas em cada ponto e a respectiva duração.

Tabela 5.1 – Identificação e duração de cada medição realizada.

Pontos de Medição	Identificação da Medição	Duração [Horas]	Data
PI	PIM1	24	10-3-2009
	PIM2	42	11-3-2009
PII	PIIM1	24	13-3-2009
PIII	PIIIM1	48	23-9-2009

A gama de bandas de frequência obtida varia entre os 10Hz e os 20.000Hz, e os valores dos níveis sonoros fornecidos pelo sonómetro, para cada banda de 1/3 de oitava,

não estão ponderados em A, pelo que se adicionaram os respectivos valores de ponderação, para se obter LAeq,T\_f.

Da aplicação das ponderações resultaram níveis sonoros negativos, com especial incidência nas bandas de frequência abaixo dos 40Hz. Estes valores não têm significado físico, no entanto foram mantidos nas tabelas para que se possa retroceder na aplicação da ponderação.

Os resultados das várias medições são apresentados no CD em Anexo, de acordo com o indicado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados das medições de longa duração.

<b>Medição</b>	<b>Ficheiro</b>
PIM1	A1
PIM2	A2
PIIM1	A3
PIIIM1	A4

Cada ficheiro tem cinco tabelas (Níveis sonoros, Frequências, Freq Diurnas, Freq Entardecer e Freq Nocturnas).

Na Tabela designada por ‘Níveis sonoros’, apresentam-se os parâmetros acústicos LAeq,5, LAIT, LAFmáx, LASmáx e LAImax.

Na Tabela designada por ‘Frequências’, apresentam-se os níveis sonoros (LAeq,T\_f) em cada banda de frequência relativo ao nível sonoro global (LAeq,5).

Nas Tabelas, ‘Freq Diurnas’, ‘Freq Entardecer’ e ‘Freq Nocturnas’ apresentam-se as amostras de LAeq,5, com os respectivos espectros de frequência, obtidas em cada período de tempo de referência. Nestas últimas tabelas não se consideraram as bandas de frequência abaixo dos 25Hz, por não terem interesse para o estudo que se pretende.

Os valores negativos devido à aplicação da ponderação A em cada banda de 1/3 de oitava, não têm qualquer significado, pois os níveis sonoros audíveis são acima dos 0 dB(A), portanto passaram-se a zero todos esses valores negativos.

## 5.3 – Análise dos resultados

### 5.3.1 – Variações nas emissões de ruído ao longo do dia

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam as variações do nível sonoro contínuo equivalente, com tempo de integração de 5min (LAeq,5), em cada uma das medições.

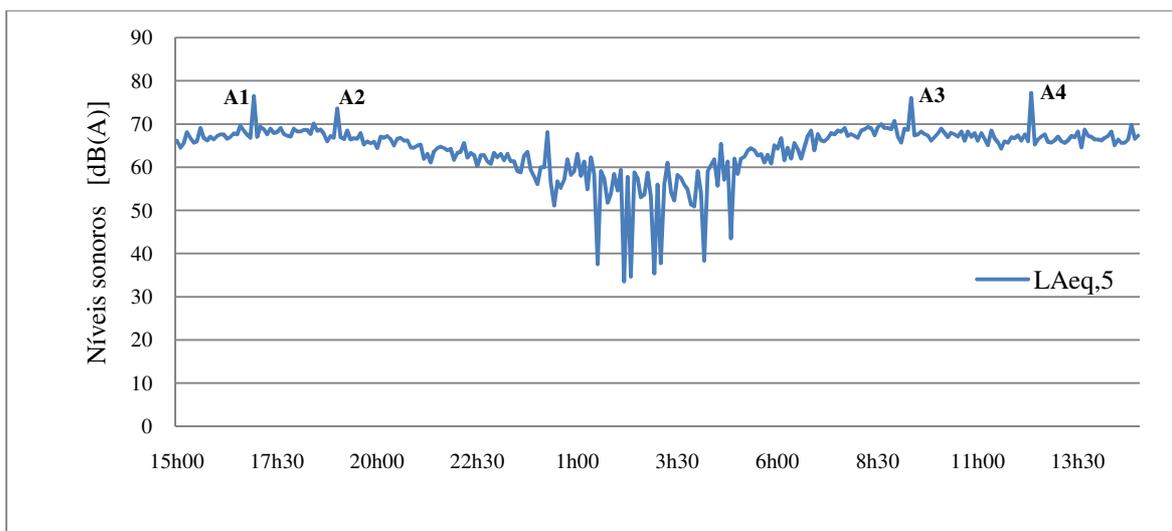


Figura 5.1 – Variação dos níveis sonoros no ponto PI da medição PIM1.

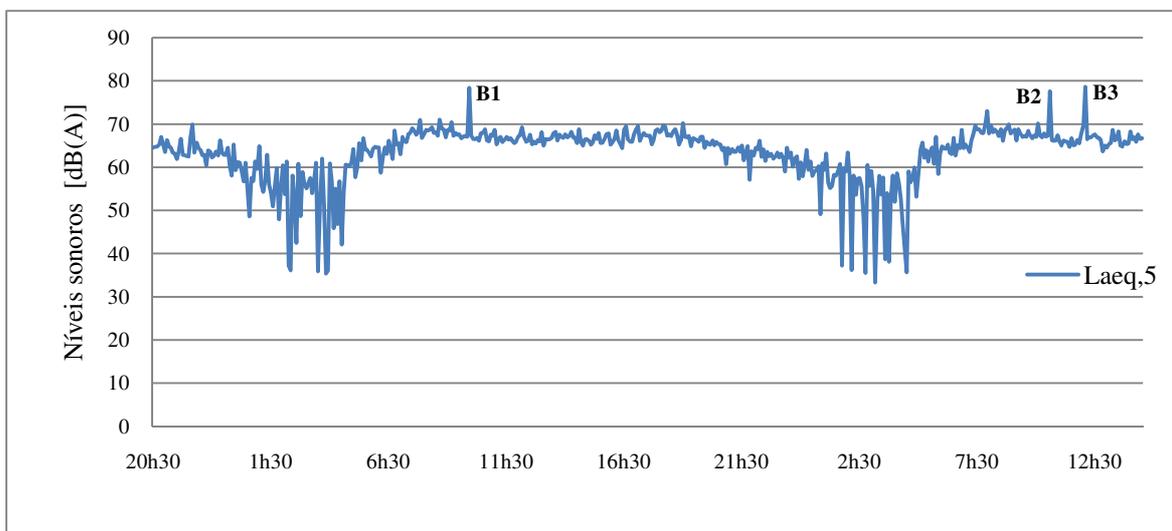


Figura 5.2 – Variação dos níveis sonoros no ponto PI da medição PIM2.

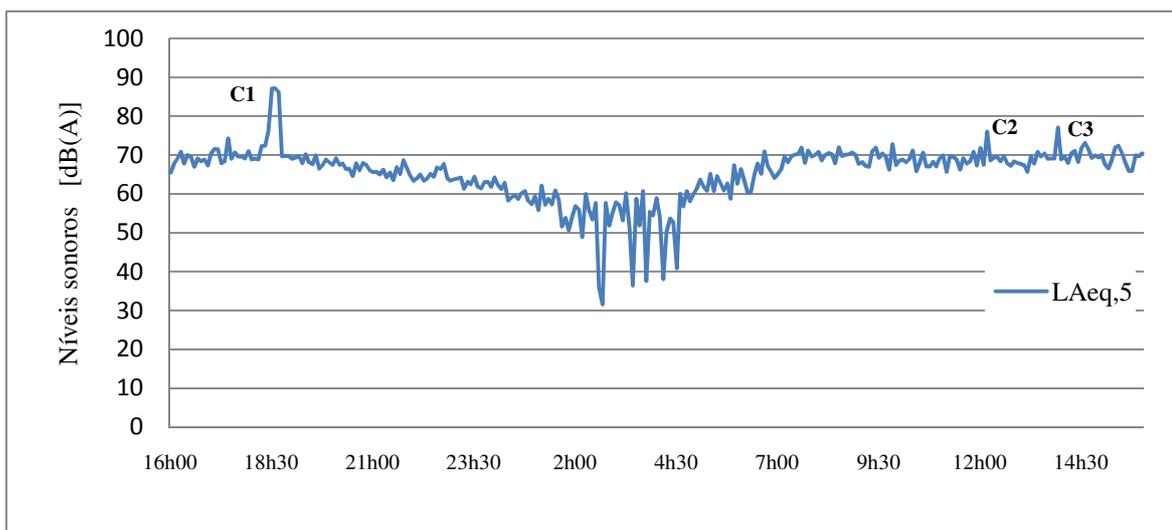


Figura 5.3 – Variação dos níveis sonoros no ponto PII da medição PIIM1.

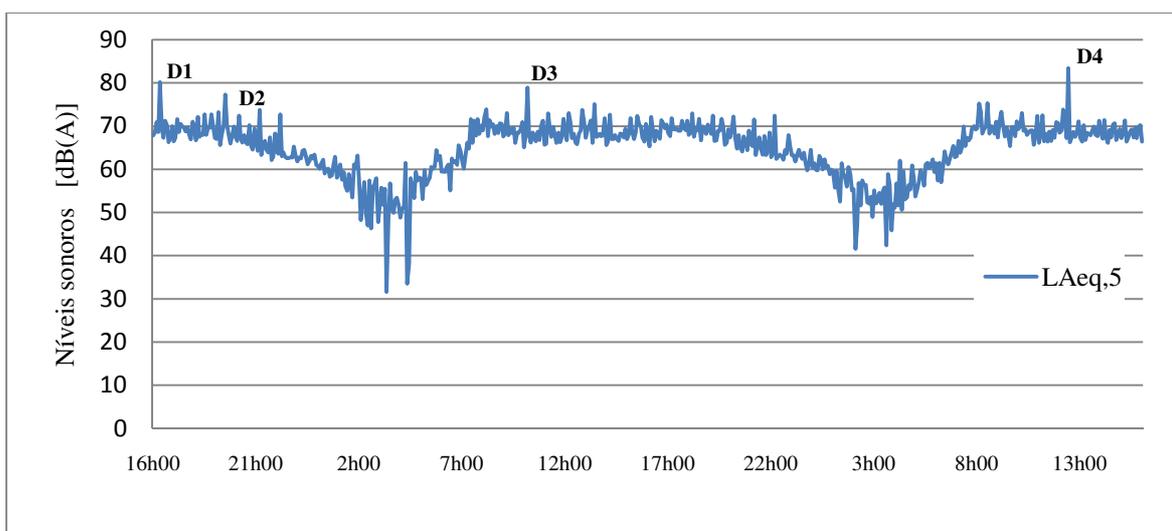


Figura 5.4 – Variação dos níveis sonoros no ponto PIII da medição PIIM1.

Analisando as variações nos níveis de ruído registados nas quatro medições, constata-se que estes durante o dia, situam-se acima dos 65 dB(A), decrescendo significativamente por volta das 21h00, atingindo um período de maior acalmia entre a 1h00 e as 5h00, após o qual voltam a aumentar até cerca de 70dB(A) mantendo-se este nível de ruído relativamente constante ao longo do período diurno, sem que se verifiquem picos de emissão de ruído característicos de horas de ponta.

Pela Tabela 5.3 verifica-se que os níveis sonoros LAeq,5 são superiores a 65 dB(A) em mais de metade das amostras. No caso das medições PIIM1 e PIIIM1, observa-se ainda que a percentagem de amostras acima dos 70 dB(A) é significativamente superior, relativamente ao que se verifica em PIM1 e PIM2, em parte devido ao facto do microfone ter ficado posicionado 5 metros mais próximo da fonte de ruído.

Tabela 5.3 – Percentagem de amostras superiores a determinado LAeq,5.

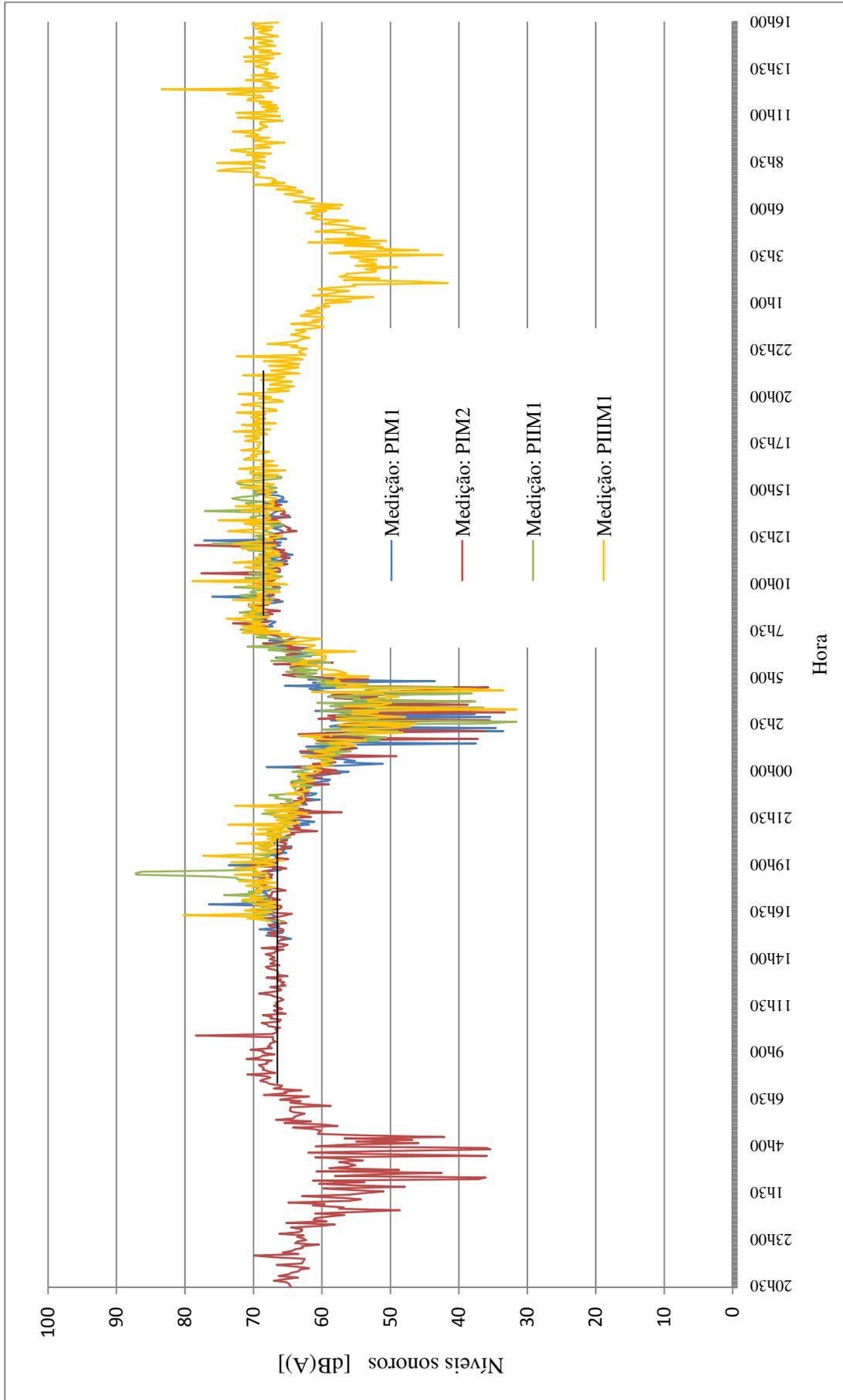
LAeq,5 [dB(A)]	Medições			
	PIM1	PIM2	PIIM1	PIIIM1
> 60 dB(A)	82,0 %	79,6 %	83,7 %	80,1 %
> 65 dB(A)	59,9 %	53,3 %	66,1 %	60,1 %
> 70 dB(A)	2,4 %	1,8 %	18,0 %	16,1 %
> 75 dB(A)	1,0 %	0,6 %	2,1 %	1,2 %

Desenhando-se no mesmo gráfico os níveis sonoros LAeq,5 em função do tempo, obtidos em cada medição, ver Figura 5.5, verifica-se que o ruído apresenta aproximadamente o mesmo padrão de variação ao longo dos dias. A medição PIIIM1 realizou-se 6 meses mais tarde em relação às restantes, no entanto apresenta o mesmo padrão.

Durante o período nocturno observam-se significativas variações nos níveis sonoros LAeq,5, estas variações devem-se sobretudo a longos períodos de ausência de ruído que são interrompidos pela passagem de veículos, os quais emitem níveis de pressão sonora elevados, comparativamente a outros ruídos que se possam verificar durante a noite, aumentando por conseguinte o valor final do LAeq,5.

No período diurno a variabilidade dos LAeq,5 é menos expressiva, devido ao maior número de veículos em circulação, fazendo com que os níveis de ruído se mantenham, na sua maioria, acima dos 65 dB(A).

Pode-se afirmar, pelos resultados obtidos, que o volume de tráfego entre as 7h30 e as 21h00 é aproximadamente constante, visto que os níveis de ruído também o são, e sendo o tráfego rodoviário a principal fonte de ruído, não é possível desassociar o volume de tráfego da variação do ruído ao longo do dia.



### 5.3.1.1 – Picos de níveis sonoros

Nas variações dos níveis sonoros nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 identificam-se alguns picos de ruído, resumidamente apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5.4 – Picos de ruído identificados das medições.

Medição	Pico	Amostra	Hora	LAeq,5 [dB(A)]
PIM1	A1	PIM1 – 24	16h55	76,5
	A2	PIM1 – 49	19h00	73,6
	A3	PIM1 – 221	9h20	76,0
	A4	PIM1 – 257	12h20	77,2
PIM2	B1	PIM2 – 162	10h55	78,4
	B2	PIM2 – 458	10h35	77,6
	B3	PIM2 – 476	12h05	78,6
PIIM1	C1	PIIM1 – 31	18h30	87,1
	C2	PIIM1 – 243	12h12	76,0
	C3	PIIM1 - 264	13h55	77,1
PIIIM1	D1	PIIIM1 – 5	16h20	80,2
	D2	PIIIM1 – 43	19h30	77,3
	D3	PIIIM1 – 219	10h10	78,9
	D4	PIIIM1 - 534	12h25	83,4

Verifica-se pela Tabela 5.4 que alguns desses níveis ruído atingem valores muito elevados, como no caso de C1, D1 e D4; são valores que ocorrem com pouca frequência no entanto surgem em todas medições.

Nos locais não se identificaram fontes de ruído significativas para além do ruído de tráfego e não se espera que os níveis de ruído emitidos por estes sejam significativamente superiores a 70 dB(A), num tempo de integração de 5 minutos, pela Tabela 5.3 verifica-se que isto ocorreu em menos de 18% das amostras.

Desconhecem-se as fontes que originam estes picos de ruído, mas para que se obtenha um valor do LAeq,5 superior a 75dB(A), supondo que existe no local um ruído constante de 70dB(A), é necessário que uma fonte emita em níveis de pressão sonora

iguais a 80 dB(A) durante mais de 24% do tempo, o que corresponde a mais de 1 minuto, para um período de integração de 5 minutos.

Os picos de ruído registados são quase todos superiores a 75 dB(A) e podem dever-se a passagens de veículos ruidosos, no entanto têm de corresponder a situações de emissão de ruído que se manifestem durante algum tempo.

Procurando compreender a relação existente entre os diversos picos, fez-se a sobreposição dos espectros de frequências para cada medição, como se apresenta nas Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

Os espectros de frequências apresentados correspondem a níveis sonoros contínuos equivalentes, ponderados A, para um tempo de integração de 5 minutos, portanto podem-se designar de espectros equivalentes. Estes espectros não correspondem exactamente aos espectros do ruído emitido pelas fontes ruidosas que se pretende estudar, no entanto há bandas de frequência que ficam claramente marcadas por estes elevados níveis de ruído.

Na Tabela 5.5 são apresentados os valores dos níveis sonoros contínuos equivalentes em cada banda de 1/3 de oitava.

Comparando os espectros de frequências dos picos de LAeq,5 registados em cada medição, verifica-se pela Figura 5.7 que são todos muito idênticos na medição PIM2, apontando assim para a mesma fonte de emissão. O mesmo se poderá dizer dos picos PIIM1-243 e PIIM1-264 que se apresenta na Figura 5.8.

Sobrepondo-se os espectros apresentados nas Figuras 5.6, 5.7 e 5.9 constata-se pela Figura 5.10, que nove dos onze espectros de frequências dos LAeq,5 de pico assemelham-se, e que cinco deles, apresentados na Figura 5.11, têm variações muito idênticas ao longo das bandas de frequência. No entanto observa-se que o pico PIIM1-534 apresenta um considerável aumento do nível sonoro equivalente em cada banda de frequência, entre os 500 Hz e os 1,6 kHz face aos restantes picos, contudo a semelhança que se verifica nos espectros leva a que se acredite terem origem na mesma fonte sonora ou fontes com características de emissão de ruído idênticas.

Na mesma Figura 5.11 desenharam-se alguns espectros de frequências dos níveis sonoros, LAeq,5, frequentes ao longo da medição e que se pode associar ao ruído de tráfego. Comparando as diferenças entre os espectros espectáveis e os de ruídos de pico, verifica-se que os aumentos mais significativos do nível de ruído ocorrem nas bandas 1/3 de oitava entre os 400 Hz e os 4 kHz.

Tabela 5.5 – Espectros de frequências dos picos de LAeq,5.

Amostra	LAeq,5 [dB(A)]	LAeq,T,f - Bandas de frequência [Hz]																													
		25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
PIM1 - 24	76,5	29,4	32,6	35,1	38,2	42,2	40,7	42,3	43,4	45,3	46,9	49,2	52,5	60,7	55,5	57,0	67,4	61,0	73,0	63,4	62,3	62,9	70,1	56,0	50,0	45,9	40,9	37,0	28,7	24,3	19,5
PIM1 - 49	73,6	16,5	22,1	35,0	38,5	38,9	49,8	47,4	46,2	46,7	48,8	50,5	51,8	52,2	56,2	60,0	62,5	66,3	67,7	68,4	62,6	55,8	55,0	51,1	48,1	44,9	39,9	34,5	29,1	22,0	14,5
PIM1 - 221	76,0	11,9	18,5	25,6	31,7	36,0	36,0	39,2	42,0	43,1	45,8	48,2	49,3	53,7	59,3	62,6	66,9	70,8	70,5	65,4	66,3	61,8	56,6	52,3	46,9	42,5	38,0	33,7	28,9	23,8	16,2
PIM1 - 257	77,2	12,4	23,0	24,4	32,1	34,9	33,0	41,7	42,3	42,8	44,4	47,4	50,6	50,9	58,9	66,0	70,8	71,3	72,3	65,6	61,0	58,6	54,4	51,4	48,3	47,6	41,0	36,7	31,3	22,8	16,9
PIM2 - 162	78,4	13,9	29,7	35,9	33,2	37,3	36,0	40,9	45,3	44,7	48,0	50,3	50,8	51,6	59,5	68,3	72,3	72,9	73,1	64,6	61,6	62,3	58,8	55,5	51,2	46,1	47,0	41,6	34,3	28,9	20,3
PIM2 - 458	77,6	12,7	18,4	29,5	34,8	36,3	44,0	42,4	43,9	43,8	47,7	48,8	51,4	53,0	59,0	65,7	70,6	72,0	73,2	65,4	60,3	59,2	57,6	53,2	49,5	45,1	40,1	34,4	28,4	21,4	13,3
PIM2 - 476	78,6	13,3	21,2	27,4	33,5	38,7	38,6	40,0	42,4	44,1	46,4	49,4	50,3	51,1	60,8	68,0	72,5	72,9	73,4	66,5	61,8	59,3	55,0	51,4	45,9	41,8	36,0	30,6	24,2	16,7	9,1
PIPM1-31	87,1	19,6	27,8	35,6	44,7	44,9	44,4	44,2	46,7	49,4	61,5	57,8	62,3	69,7	71,5	74,6	79,8	78,0	79,2	79,5	79,3	75,3	72,0	68,1	62,5	54,2	46,5	39,1	33,8	28,5	24,0
PIPM1-243	76,0	26,1	26,5	36,7	42,9	42,8	42,7	43,8	47,4	50,7	49,2	50,8	59,2	57,5	61,1	63,5	64,2	67,3	67,8	68,0	67,4	65,1	63,0	62,1	61,2	59,0	53,4	48,9	42,7	35,6	28,0
PIPM1-264	77,1	24,9	31,6	36,5	41,9	45,6	45,3	48,1	47,6	51,1	49,6	52,4	57,7	56,2	63,8	65,1	62,4	68,2	68,4	69,4	68,2	67,0	65,0	64,1	63,0	60,1	55,2	50,4	46,8	39,2	29,3
PIPM1-5	80,2	19,4	25,9	30,5	37,5	43,6	45,8	45,0	48,3	48,4	49,5	51,9	55,3	64,8	71,5	76,3	69,8	73,1	70,1	66,0	63,8	58,7	57,5	53,5	48,6	44,6	39,7	34,1	28,2	21,6	14,4
PIPM1-43	77,3	20,3	26,2	32,2	38,5	44,6	42,2	43,2	48,4	45,5	48,2	49,9	53,3	61,4	69,0	72,4	69,8	70,1	65,3	63,8	60,4	58,4	55,1	52,1	47,3	43,5	39,4	34,3	28,7	22,6	17,8
PIPM1-219	78,9	20,1	26,5	31,7	40,4	45,3	42,5	42,0	44,4	46,0	50,6	50,6	55,1	58,4	65,6	62,9	67,2	66,8	75,2	70,5	70,5	67,4	61,6	57,3	54,1	50,1	43,4	35,6	29,7	23,3	14,8
PIPM1-534	83,4	30,6	31,9	32,7	40,2	45,2	45,1	45,4	47,6	48,3	50,9	52,0	53,2	54,6	61,6	76,7	76,4	80,0	74,6	62,2	64,7	63,4	59,7	56,0	53,6	48,7	44,1	38,8	36,0	28,6	22,1

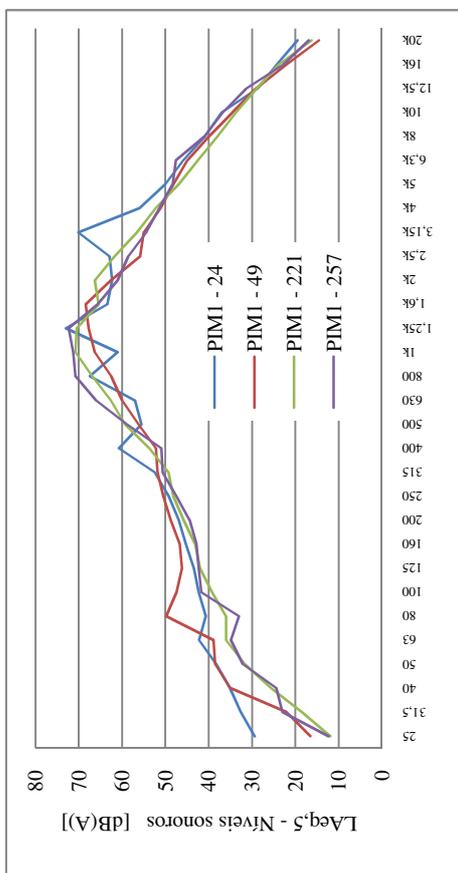


Figura 5.6 – Espectros de frequências dos L<sub>Aeq,5</sub> de pico obtidos na medição PIM1.

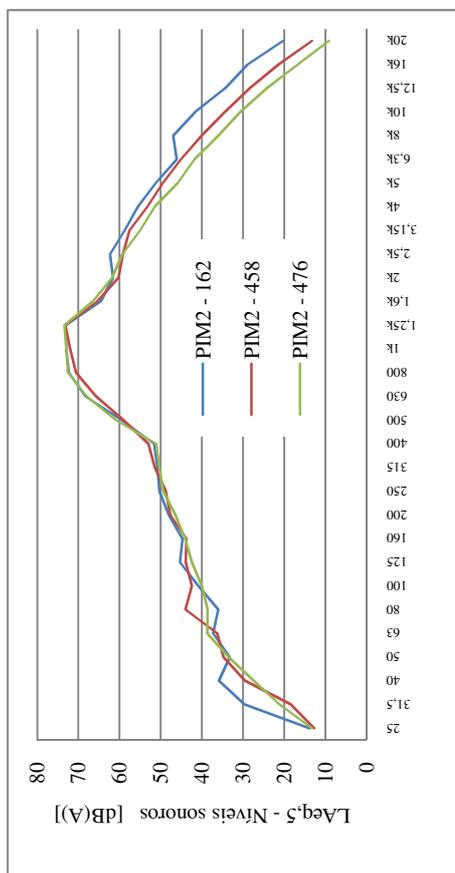


Figura 5.7 – Espectros de frequências dos L<sub>Aeq,5</sub> de pico obtidos na medição PIM2.

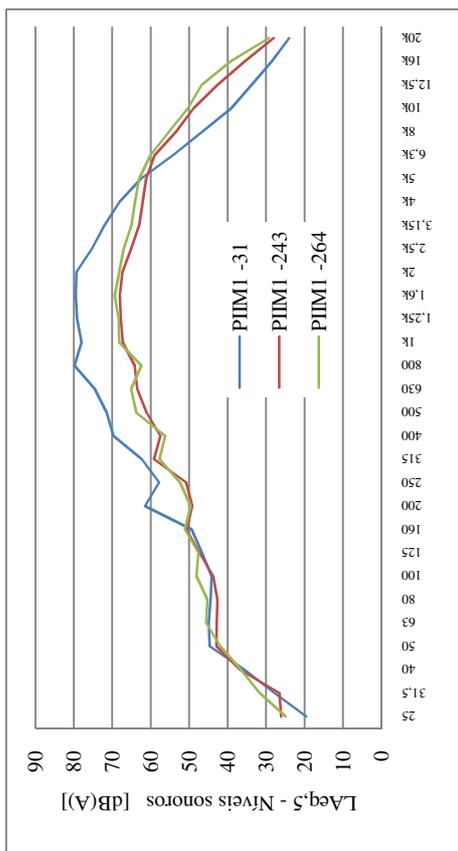


Figura 5.8 – Espectros de frequências dos L<sub>Aeq,5</sub> de pico obtidos na medição PIIIM1.

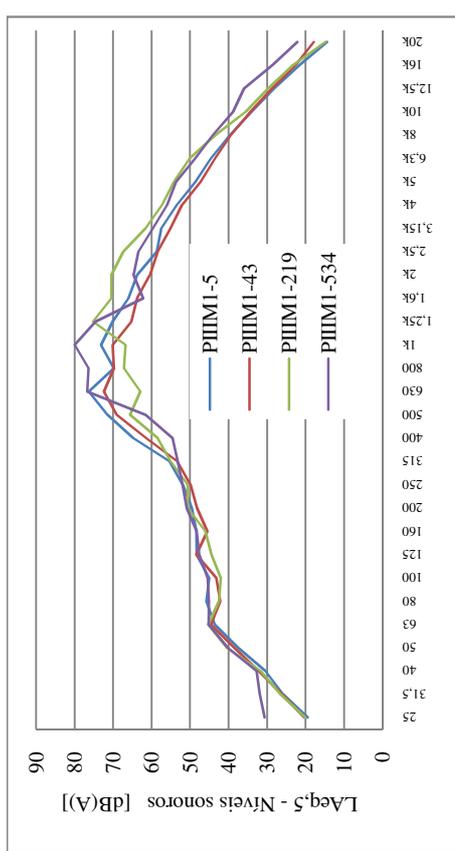


Figura 5.9 – Espectros de frequências dos L<sub>Aeq,5</sub> de pico obtidos na medição PIIIM1.

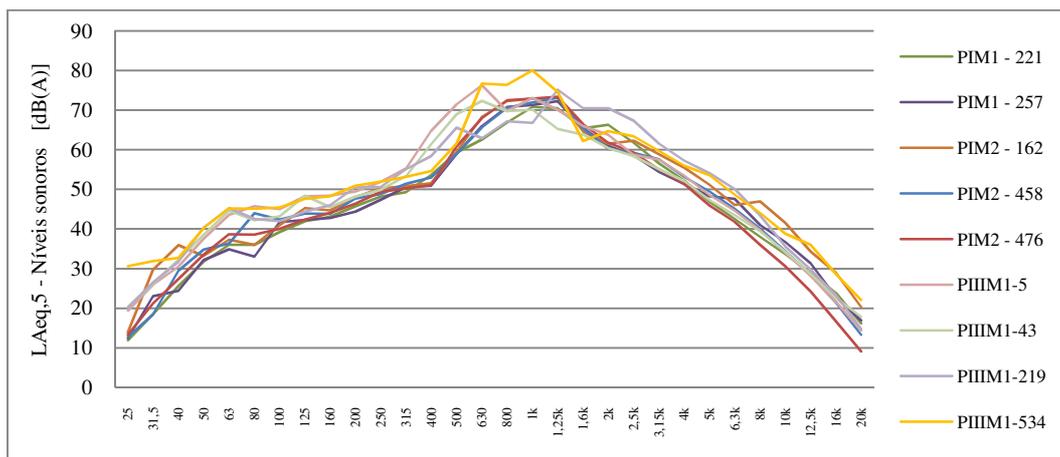


Figura 5.10 – Espectros de frequências dos picos de ruído identificados nas medições PIM1, PIM2 e PIIIM1, com desenvolvimentos semelhantes ao longo das bandas de 1/3 de oitava.

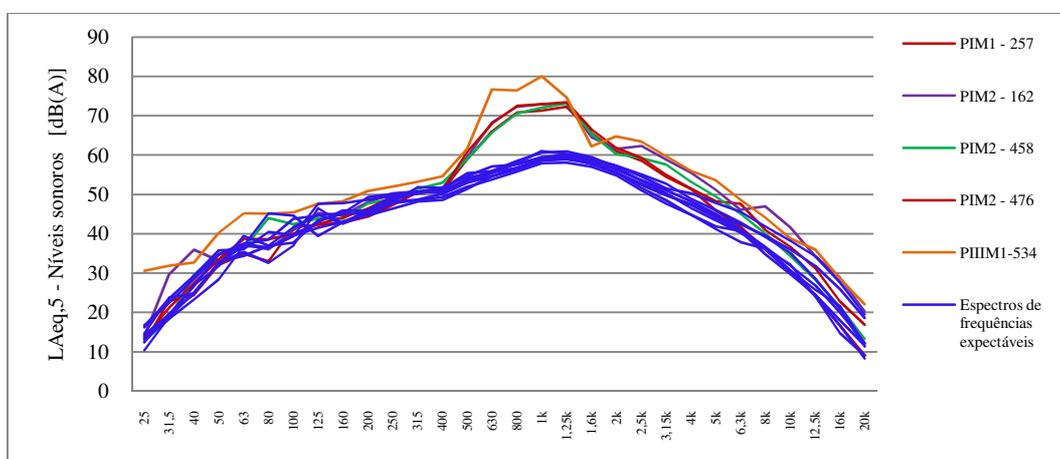


Figura 5.11 – Espectros de frequências dos picos A4, B1, B2, B3 e D4 em comparação com os espectros esperados e característicos do ruído de tráfego.

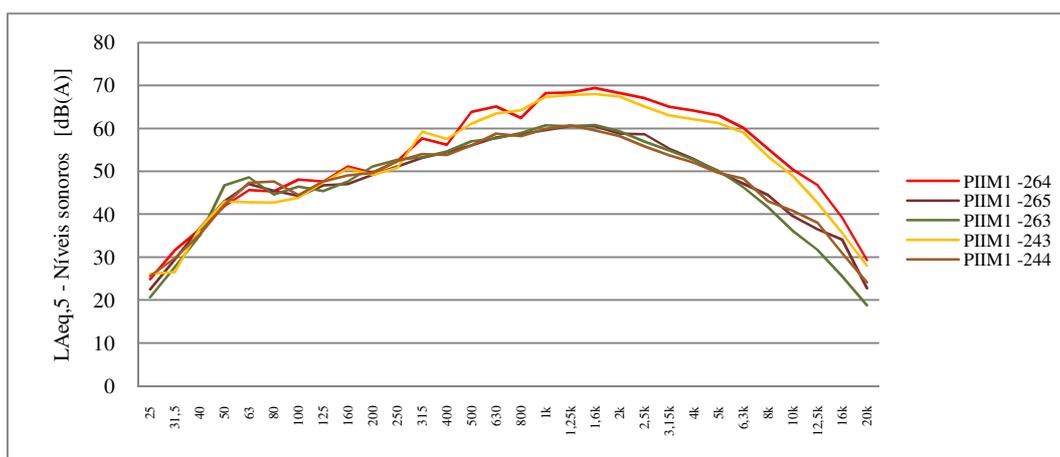


Figura 5.12 – Espectros de frequências dos picos C2 e C3, em comparação com os espectros de L\_Aeq,5 próximos desses picos de ruído.

Na medição PIIM1 (Figura 5.12) identificaram-se dois picos de ruído, que ocorreram com 1h40 de intervalo e cujo os espectros equivalentes são muito idênticos (amostras PIM1-243 e PIM1-264). Estes espectros não apresentam a mesma variação dos níveis sonoros ao longo das bandas de frequência que se verificavam nos picos do LAeq,5 apresentados na Figura 5.10, portanto pode-se afirmar que estamos perante níveis de ruído com origens diferentes.

Comparando, na Figura 5.12, os dois espectros do ruído de pico (PIIM1-264 e PIIM1-243) com os espectros das amostras do LAeq,5 que lhes estão próximas, verifica-se que há um significativo aumento dos níveis sonoros nas bandas de frequência a partir dos 250 Hz. Na mesma medição PIIM1 foi registado o nível sonoro LAeq,5 mais elevado do total das medições. Este pico de ruído surge em quatro amostras sucessivas de LAeq,5 o que equivale a 20 minutos, e cujos espectros de frequência equivalentes se apresentam na Figura 5.13. A fonte sonora que originou estes níveis de ruído elevados e contínuos durante um período de tempo relativamente longo é provavelmente externa ao ruído de tráfego, devido à duração da mesma.

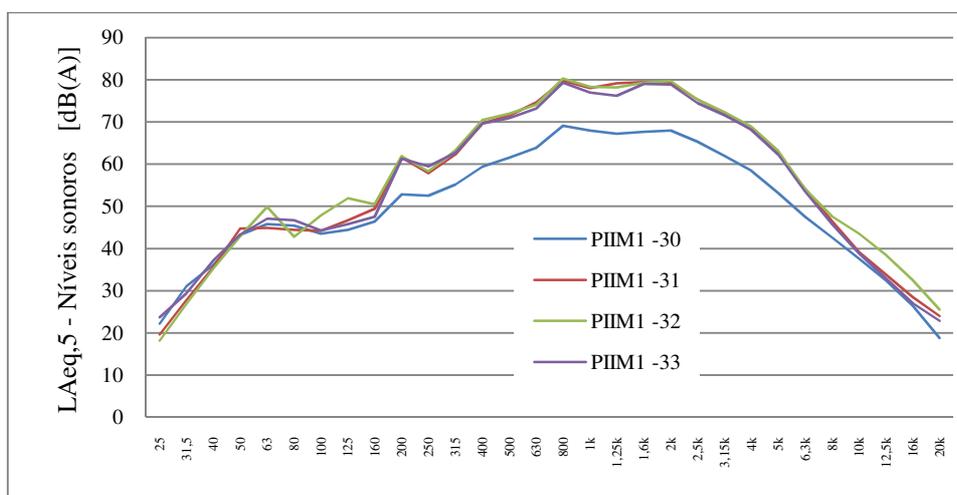


Figura 5.13 – Espectros de frequências dos LAeq,5 de pico (C1) no ponto de medição PIIM1.

Em conclusão, foram identificados três espectros de frequências (Figuras 5.11, 5.12 e 5.13) correspondendo a níveis sonoros (LAeq,5) de pico, observados em pelo menos duas amostras. As diferenças entre os três tipos de espectros analisados permitem afirmar que estes níveis de ruído observados têm origem em pelo menos três fontes com características de emissão distintas.

### 5.3.1.2 – Espectros de frequências característicos

Como referido anteriormente, os veículos rodoviários são as principais fontes de ruído nos locais de medição e as variações dos níveis sonoros LAeq,5 estão muito associadas ao volume e composição do tráfego.

De contagens de veículos efectuadas no Capítulo 6, concluí-se que 87% dos veículos que compõem o tráfego da EN109, são da categoria 1. Portanto é de esperar que os espectros de frequência dos níveis sonoros contínuos no tempo de integração de 5 minutos (LAeq,5), sejam representativos dos espectros de frequências do ruído emitido por veículos dessa categoria.

Para compreender quais os espectros de frequência característicos do ruído na EN109 dividiram-se os resultados da medição por períodos de referência diurno, entardecer e nocturno, como definidos no número 1 do anexo I do DL 146/2006 [18] e apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Períodos de referência definidos no Regulamento Geral do Ruído [2].

Período Diurno	7 às 20h
Período Entardecer	20 às 23h
Período Nocturno	23 às 7h

No CD em Anexo encontram-se os ficheiros A1, A2, A3 e A4, referentes a cada medição e onde se apresentam as tabelas (Freq Diurnas, Freq Entardecer e Freq Nocturnas) com os LAeq,5 distribuídos pelos respectivos períodos de referência, organizados por ordem crescente e agrupados em intervalos de valores de LAeq,5, definidos na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Intervalos de LAeq,5.

Intervalos de LAeq,5 [dB(A)]
<45
45 -50
50 -55
55 - 60
60 -65
65 - 70
70 -75
75 <

Em cada intervalo contabilizou-se o número de amostras obtidas, onde se verifica que 93,6% das amostras da medição PIM1 e 92,3% das amostras da medição PIM2, ambas relativas ao período de referência diurno, correspondem ao intervalo de LAeq,5 entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A). O mesmo se verifica em 67,5% e 70,6% das amostras da medição PIIM1 e PIIIM1 respectivamente.

No período do entardecer verifica-se que no local de medição PI, o intervalo entre os 60 e os 65 dB(A) é o que reúne cerca de 69% das amostras de LAeq,5. Em PII e PIII a maioria das amostras têm valores acima dos 65 dB(A).

Analisando os níveis de ruído (LAeq,5) obtidos para o período nocturno, constata-se que mais de 76% correspondem a níveis superiores a 55 dB(A).

Na Tabela 5.8 apresenta-se o resumo da percentagem de amostras em cada intervalo do LAeq,5.

Tabela 5.8 – Distribuição das amostras por intervalo de LAeq,5.

	Intervalo	Percentagem de amostras			
		PIM1	PIM2	PIIM1	PIIIM1
Diurno	55 ≤ LAeq,5 < 60				
	60 ≤ LAeq,5 < 65	1,9	4,0		1,9
	65 ≤ LAeq,5 < 70	93,6	92,3	67,5	70,6
	70 ≤ LAeq,5 < 75	2,5	2,4	28,7	25,2
	75 ≤ LAeq,5	1,9	1,2	3,8	2,2
Entardecer	50 ≤ LAeq,5 < 55				
	55 ≤ LAeq,5 < 60		1,5		
	60 ≤ LAeq,5 < 65	66,7	71,2	30,6	47,2
	65 ≤ LAeq,5 < 70	33,3	27,3	69,4	43,1
	70 ≤ LAeq,5 < 75				9,7
Nocturno	75 ≤ LAeq,5				
	LAeq,5 < 45	7,3	7,8	6,3	2,6
	45 ≤ LAeq,5 < 50		4,2	1,0	5,7
	50 ≤ LAeq,5 < 55	14,6	9,9	14,6	15,1
	55 ≤ LAeq,5 < 60	32,3	31,3	27,1	36,5
	60 ≤ LAeq,5 < 65	38,5	39,6	41,7	39,1
	65 ≤ LAeq,5 < 70	7,3	7,3	8,3	1,0
	70 ≤ LAeq,5 < 75			1,0	
75 ≤ LAeq,5					

Os espectros de frequências dos níveis de ruído (LAeq,5), no intervalo dos 65 dB(A) aos 70 dB(A), caracterizam os níveis de ruído que predominam na EN109. Para determinar um espectro representativo fez-se, para cada intervalo considerado, o cálculo da média logarítmica dos níveis sonoros por banda de frequência (LAeq,T\_f). Os resultados são apresentados nas Tabelas 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13. Na Tabela 5.9 apresenta-se o resultado da média logarítmica (LAeq,5\_m), dos valores de LAeq,5 no mesmo intervalo.

Na Figura 5.14 desenharam-se os espectros de frequências de LAeq,5\_m, onde se constata que existe uma boa aproximação dos dois espectros PIM1 e PIM2, e o mesmo se verifica para os espectros de PIIM1 e PIIM1, apesar destes dois últimos terem sido obtidos com 6 meses de intervalo entre medições.

Da análise feita verifica-se que nas duas zonas da EN109, onde se realizaram medições, os níveis sonoros (LAeq,5) mais frequentes durante o período diurno, encontram-se no intervalo entre os 65dB(A) e os 70dB(A), e para cada zona é possível determinar um espectro de frequências médio desse intervalo que não difere muito de medição para medição.

As medições em PI realizaram-se a uma distância cerca de 5 m mais afastada da fonte, comparativamente com as medições PII e PIII. O efeito da atenuação devido a essa diferença na distância não foi contabilizado, por não ter sido possível identificar as situações em que a fonte é considerada pontual/linear. Os valores esperados em PI são 3 a 6 dB(A) superiores aos valores efectivamente medidos, o que implica que as diferenças mais significativas entre os espectros obtidos em (PI) e os obtidos em (PII e PIII) ocorram nas bandas de 1/8 de oitava entre os 630Hz e os 1,6kHz.

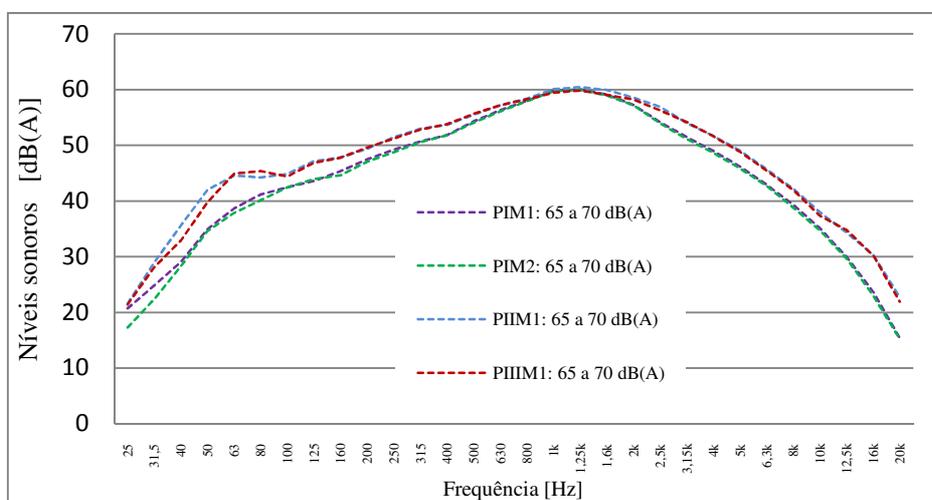


Figura 5.14 – Espectros de frequência médios no intervalo de LAeq,5, entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A).

Tabela 5.9 – Médias logarítmicas de LAeq,5 no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A).

Medição	LAeq,5_m [dB(A)]
PIM1	67,4
PIM2	67,3
PIIM1	68,5
PIIIM1	68,1

Tabela 5.10 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIM1.

Intervalo dB(A)	N.º de amostras	Média de LAeq,5 por banda de 1/3 de oitava [dB(A)]																													
		25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
Diurno	60 ≤ LAeq,5 < 65	16,0	21,1	28,3	33,3	35,5	34,2	37,3	40,7	40,6	43,1	46,0	47,6	48,2	51,0	53,1	55,2	57,3	57,4	56,2	53,9	50,5	47,8	46,4	45,0	39,0	33,8	28,4	23,0	16,2	9,2
	65 ≤ LAeq,5 < 70	20,7	24,9	29,1	35,0	38,6	41,2	42,4	43,6	45,4	47,5	49,2	50,7	51,8	54,3	56,3	58,0	59,8	60,1	59,1	57,2	54,1	51,4	49,0	46,2	42,9	39,3	35,1	29,9	23,7	15,4
	70 ≤ LAeq,5 < 75	15,3	21,8	31,4	37,6	39,0	45,8	47,2	52,0	46,2	48,3	51,1	52,3	54,5	56,4	59,4	61,5	64,0	64,4	64,5	61,2	56,8	54,1	51,8	49,6	49,3	48,0	45,3	41,0	33,2	22,8
	75 ≤ LAeq,5	24,8	28,4	31,1	35,1	39,0	37,7	41,3	42,6	43,9	45,8	48,3	51,0	57,1	58,2	63,2	68,7	69,5	72,1	64,9	63,8	61,5	65,6	53,7	48,6	45,8	40,2	36,0	29,8	23,7	17,8
Entardecer	60 ≤ LAeq,5 < 65	7,5	13,2	21,7	28,0	31,5	34,3	34,9	35,8	40,5	40,4	43,5	45,0	46,1	48,6	51,1	53,7	56,2	56,5	55,5	53,6	49,9	46,1	42,4	38,9	35,4	31,5	26,4	21,1	14,3	7,1
	65 ≤ LAeq,5 < 70	10,0	15,5	23,5	31,5	34,6	36,9	40,0	39,2	40,7	43,3	46,4	47,9	48,8	51,4	54,0	56,6	59,2	59,6	58,6	56,6	53,1	49,4	46,1	43,7	39,4	35,4	30,6	25,2	18,2	10,3
Nocturno	LAeq,5 < 45	0,0	2,3	6,7	13,8	16,9	22,9	25,4	22,5	25,8	26,0	25,8	25,3	24,3	24,0	24,8	26,9	28,4	30,5	26,7	25,3	29,4	19,2	14,8	16,4	10,4	9,2	7,7	5,5	3,2	0,5
	50 ≤ LAeq,5 < 55	0,8	3,8	13,0	22,4	22,2	27,7	28,6	29,8	30,0	31,5	34,1	35,7	36,4	38,5	41,4	43,6	46,1	46,4	45,7	43,8	40,3	36,5	32,7	29,0	25,4	21,0	15,8	10,7	5,4	1,1
	55 ≤ LAeq,5 < 60	1,7	7,6	13,8	21,3	24,1	29,6	33,0	31,3	32,7	35,3	37,7	39,3	40,1	42,7	45,3	48,1	50,9	51,5	50,5	48,4	44,4	40,0	35,9	32,4	28,8	25,0	19,8	15,7	8,8	2,5
	60 ≤ LAeq,5 < 65	6,7	11,4	17,8	26,0	30,9	33,9	35,9	35,8	37,5	39,4	42,1	43,8	44,7	47,7	50,3	52,7	55,2	55,7	54,8	53,0	49,4	45,8	44,8	44,8	46,8	37,7	30,8	26,2	21,0	15,6
65 ≤ LAeq,5 < 70	10,7	15,3	22,2	30,1	30,9	37,6	40,8	44,5	44,5	46,3	49,4	49,9	50,1	52,6	55,0	56,6	58,6	59,3	58,3	56,7	54,6	52,8	52,3	53,2	45,5	39,3	34,4	28,5	22,4	13,6	

Tabela 5.11 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIM2.

Intervalo	N.º amostras	Média de LAeq,5 por banda de 1/3 de oitava [dB(A)]																													
		25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
Diurno	60 ≤ LAeq,5 < 65	13,2	18,9	24,9	31,8	34,6	36,4	39,3	44,6	41,6	43,7	46,6	47,7	48,1	50,5	52,9	55,0	57,1	57,3	56,1	53,9	50,3	47,3	45,0	41,7	38,3	34,3	29,0	25,4	18,3	13,9
	65 ≤ LAeq,5 < 70	17,3	22,4	28,4	34,6	37,8	40,2	42,4	43,9	44,6	47,1	48,8	50,6	51,8	54,1	56,1	57,9	59,8	60,0	59,0	57,2	53,9	51,1	48,7	45,8	42,7	38,8	34,7	29,7	23,0	15,2
	70 ≤ LAeq,5 < 75	17,6	20,3	28,0	34,8	36,5	40,5	45,5	47,7	50,5	51,4	51,2	56,5	61,1	59,7	62,3	61,7	62,4	62,0	61,4	59,9	57,2	55,4	52,9	50,8	47,5	45,1	43,2	37,7	32,0	23,3
	75 ≤ LAeq,5	13,3	25,8	32,5	33,9	37,6	40,8	41,2	44,0	44,2	47,4	49,5	50,9	52,0	59,8	67,5	71,9	72,6	73,2	65,6	61,3	60,5	57,4	53,7	49,4	44,7	43,3	37,9	30,9	25,1	16,6
Entardecer	55 ≤ LAeq,5 < 60	1,5	15,3	13,4	29,8	25,7	32,6	33,5	29,7	34,6	35,2	37,7	39,7	40,7	43,1	44,9	46,7	49,1	50,5	49,8	47,8	44,6	40,4	36,1	32,6	29,2	25,7	20,7	15,2	8,0	2,2
	60 ≤ LAeq,5 < 65	5,8	13,0	21,6	29,0	32,9	35,3	41,2	37,6	38,4	41,9	43,8	45,6	46,3	48,7	51,1	53,8	56,4	56,8	55,9	53,8	50,2	46,3	42,7	39,7	36,2	31,8	27,0	21,4	15,0	8,1
	65 ≤ LAeq,5 < 70	9,3	16,9	23,8	30,9	34,7	36,5	42,1	39,4	43,3	51,9	48,6	49,4	50,1	51,6	54,0	56,5	58,8	59,0	58,0	56,5	52,9	49,3	46,2	44,1	40,1	36,2	32,0	27,0	20,4	12,2
	LAeq,5 < 45	3,0	6,0	9,1	14,7	15,9	19,8	21,7	20,4	23,6	25,9	24,6	24,1	25,3	28,3	29,5	28,5	28,1	28,8	25,9	23,9	27,1	17,9	14,3	13,4	11,3	10,2	8,5	6,4	3,8	1,1
Nocturno	45 ≤ LAeq,5 < 50	7,4	10,5	14,7	18,1	19,3	22,2	24,3	24,4	27,0	29,0	30,4	31,8	32,0	34,9	38,6	38,6	40,2	40,6	39,0	36,6	34,7	29,3	25,9	23,4	20,3	17,7	15,0	12,4	9,6	6,9
	50 ≤ LAeq,5 < 55	2,5	5,9	10,4	18,4	24,2	23,9	29,0	26,2	27,8	35,7	33,3	35,3	35,6	38,4	41,0	43,6	46,4	46,7	45,6	43,9	40,5	35,9	31,9	28,3	24,5	21,7	16,2	10,4	5,2	1,1
	55 ≤ LAeq,5 < 60	3,6	8,5	12,9	20,6	27,3	33,7	33,0	31,0	32,4	35,8	38,1	39,6	40,6	43,0	45,7	48,6	50,8	51,2	50,2	48,2	44,6	40,5	36,8	33,0	29,4	25,7	20,8	15,0	8,6	3,3
	60 ≤ LAeq,5 < 65	6,9	13,1	17,9	25,7	30,4	35,9	39,5	38,5	38,6	40,9	42,5	44,5	45,3	48,3	50,8	53,2	55,5	56,1	55,1	53,2	49,6	45,9	42,5	39,8	35,5	31,5	26,4	20,9	15,0	7,8
65 ≤ LAeq,5 < 70	11,0	15,2	20,4	28,0	32,6	36,2	39,6	39,5	40,9	45,3	46,1	47,9	48,7	52,1	56,0	57,9	58,8	58,9	58,5	57,0	52,6	49,4	46,5	43,8	40,6	35,8	30,1	26,0	20,6	17,3	

Tabela 5.12 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIM1.

		Média de LAeq,5 por banda de 1/3 de oitava [dB(A)]																														
Intervalo	N.º amostras	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	12.5k	16k	20k	
Diurno	65 ≤ LAeq,5 < 70	21,6	29,0	35,6	42,0	44,6	44,2	44,9	47,1	47,8	49,4	51,4	53,0	53,7	55,5	57,3	58,4	60,1	60,5	59,9	58,5	56,9	53,9	51,7	49,0	45,7	42,2	38,0	34,3	30,3	22,7	
	70 ≤ LAeq,5 < 75	22,7	30,3	37,0	43,6	46,5	46,9	47,6	49,4	50,9	52,4	55,5	56,2	57,2	58,8	60,3	61,2	62,6	62,9	62,1	61,0	59,6	56,7	54,1	51,6	48,4	45,0	41,2	37,7	33,0	25,2	
	75 ≤ LAeq,5	23,3	29,3	36,3	43,2	46,6	44,8	45,7	48,0	49,6	58,9	58,9	56,4	60,9	67,2	69,0	71,4	77,0	75,2	75,4	76,6	76,6	72,5	69,5	66,3	61,8	56,4	50,7	45,9	41,2	34,1	26,0
Entardecer	60 ≤ LAeq,5 < 65	13,9	23,7	30,4	36,3	39,6	38,2	38,5	42,8	42,5	44,4	46,3	47,6	47,9	49,9	52,0	54,0	56,4	56,8	55,9	54,6	50,8	47,8	45,1	41,6	38,7	34,8	29,7	25,2	19,4	12,0	
	65 ≤ LAeq,5 < 70	15,6	24,2	32,4	38,5	41,7	43,9	46,0	44,3	48,4	49,4	50,4	51,0	51,7	53,7	55,0	56,6	59,0	58,3	57,3	53,7	53,7	51,4	49,3	46,3	43,5	39,2	35,9	30,1	24,3	17,1	
Nocturno	LAeq,5 < 45	0,0	0,1	2,2	10,9	11,8	13,8	15,2	14,2	16,9	19,2	19,6	20,8	20,8	22,9	23,0	25,8	26,5	26,3	27,2	25,8	23,0	24,7	29,7	30,3	22,4	10,6	7,8	5,6	3,2	0,5	
	45 ≤ LAeq,5 < 50	1,1	14,8	19,0	27,6	23,0	18,5	25,5	22,4	24,9	27,4	30,3	33,0	33,0	34,8	36,5	38,6	40,3	41,7	42,0	39,5	36,5	31,8	28,1	24,2	20,2	16,2	12,3	8,5	4,6	0,9	
	50 ≤ LAeq,5 < 55	4,1	16,0	20,3	26,9	31,9	27,6	28,3	32,5	32,0	34,2	36,2	36,2	36,7	37,5	39,4	41,3	43,0	44,6	45,5	44,8	42,7	39,7	36,7	35,6	33,7	28,4	22,7	18,1	15,3	8,6	2,9
	55 ≤ LAeq,5 < 60	6,2	15,1	22,4	29,7	30,7	35,4	33,3	33,7	36,9	38,7	39,8	39,8	41,3	41,8	43,5	45,6	47,9	50,3	50,9	50,0	47,9	44,6	41,4	38,6	35,6	31,8	27,5	22,7	17,9	11,4	5,6
	60 ≤ LAeq,5 < 65	11,0	18,8	27,1	34,2	36,4	36,2	36,9	38,3	39,7	41,6	43,9	45,3	45,3	45,9	48,2	50,3	52,4	54,6	55,3	54,3	52,5	49,8	46,4	43,9	40,5	36,5	32,5	28,2	23,5	17,6	11,0
	65 ≤ LAeq,5 < 70	14,9	21,8	31,7	37,7	42,9	40,8	45,7	43,2	45,3	47,3	48,4	51,2	51,5	53,0	55,2	56,7	58,0	58,5	58,0	56,2	54,0	51,7	49,3	46,8	43,8	40,0	36,6	32,0	26,5	20,0	
70 ≤ LAeq,5 < 75	16,7	26,1	32,8	42,0	40,2	41,4	44,6	45,1	51,4	50,7	51,1	54,9	55,6	57,3	58,0	61,2	63,6	63,2	62,0	61,9	58,6	55,6	53,8	51,5	47,9	43,9	39,4	34,6	27,5	19,9		

Tabela 5.13 – Média logarítmica dos níveis de ruído por banda de frequência, da medição PIIM1.

Intervalo	N.º amostras	Média de LAeq,5 por banda de 1/3 de oitava [dB(A)]																														
		25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k	
Diurno	60 ≤ LAeq,5 < 65	6	16,2	19,3	26,0	34,6	38,9	39,0	38,2	39,8	41,8	43,8	45,9	47,3	47,9	49,5	51,4	52,9	55,0	56,1	54,8	53,2	50,4	47,8	45,2	41,5	37,9	35,4	32,1	25,6	20,4	19,9
	65 ≤ LAeq,5 < 70	221	21,4	28,1	32,9	39,8	44,9	45,3	44,4	46,8	47,8	49,6	51,2	52,8	53,8	55,7	57,2	58,3	59,5	59,8	59,1	58,2	56,3	54,2	51,6	48,8	45,4	41,9	37,3	34,7	30,2	21,9
	70 ≤ LAeq,5 < 75	79	22,2	28,7	33,5	40,4	46,1	46,2	45,7	48,6	49,1	51,3	52,6	55,2	56,5	60,6	59,9	62,1	61,9	63,2	62,1	62,2	60,6	58,5	55,9	53,2	49,1	44,5	39,5	35,9	28,3	21,6
	75 ≤ LAeq,5	7	24,0	28,1	32,2	40,1	45,6	45,0	44,1	47,9	47,9	50,1	51,4	53,9	60,2	66,7	72,3	70,8	73,3	71,6	67,4	65,0	62,6	58,3	54,9	51,6	47,6	42,5	37,4	33,1	26,5	20,6
Entardecer	60 ≤ LAeq,5 < 65	34	16,0	23,8	29,2	36,0	40,3	39,7	40,9	44,3	42,8	44,2	46,9	48,2	48,6	50,6	52,2	53,9	55,7	55,9	55,1	53,1	50,2	47,7	45,1	41,8	38,7	35,0	30,6	31,8	23,2	15,9
	65 ≤ LAeq,5 < 70	31	17,8	25,4	30,2	38,3	43,6	42,9	43,6	45,7	45,8	47,9	49,5	50,9	51,8	53,3	55,5	56,9	58,4	58,9	57,9	58,2	56,0	54,0	51,8	49,2	45,4	41,7	36,7	32,7	26,2	20,9
	70 ≤ LAeq,5 < 75	7	16,3	23,4	30,1	37,4	39,9	42,6	41,4	44,1	43,4	48,7	48,7	54,7	56,5	64,6	58,5	62,9	61,5	63,2	62,1	63,9	61,5	59,6	56,6	53,9	50,0	46,0	40,5	36,6	28,7	19,9
Nocturno	LAeq,5 < 45	5	0,0	0,0	0,8	17,4	14,6	17,2	17,6	18,3	19,4	21,6	21,7	25,1	26,1	27,4	28,3	29,3	31,6	32,1	30,4	27,9	23,5	20,5	18,2	17,0	16,6	13,3	10,2	7,4	5,9	3,2
	45 ≤ LAeq,5 < 50	11	7,6	9,6	14,5	22,4	21,4	22,1	22,8	24,0	25,5	26,9	30,1	32,1	32,1	34,7	36,0	38,4	41,0	41,1	40,3	37,8	34,7	31,7	30,6	25,3	22,6	21,5	14,8	10,3	6,2	2,7
	50 ≤ LAeq,5 < 55	29	3,0	9,5	16,3	24,6	29,1	33,3	30,2	29,3	31,8	32,7	35,0	36,1	36,7	39,0	41,0	43,3	45,2	44,9	44,3	42,1	39,5	37,0	34,4	31,1	27,7	24,4	18,4	13,5	7,9	2,7
	55 ≤ LAeq,5 < 60	70	7,1	14,4	20,8	29,0	33,8	33,9	33,5	34,3	35,2	37,1	39,9	41,4	41,8	44,1	46,4	48,1	50,4	50,7	49,7	47,8	44,6	41,6	38,4	35,0	31,6	30,0	22,6	17,3	13,3	5,1
	60 ≤ LAeq,5 < 65	75	11,3	18,5	25,1	32,8	37,6	38,1	37,5	41,8	41,5	42,4	44,5	45,9	46,4	48,7	50,5	52,5	54,4	54,7	53,9	52,2	49,0	46,4	43,5	40,3	37,0	34,0	28,8	23,8	17,8	10,6
65 ≤ LAeq,5 < 70	2	10,8	20,9	33,9	35,8	41,0	44,1	39,5	40,2	41,3	44,1	47,9	51,3	50,5	53,5	57,8	55,7	56,6	56,8	56,0	54,8	52,3	50,1	47,9	44,2	41,4	37,7	32,9	28,0	21,2	13,5	

### 5.3.1.3 – Níveis sonoros mínimos

Os níveis sonoros (LAeq,5) mínimos ocorrem durante a noite, quando não se regista o ruído da passagem de veículos. Na Tabela 5.14 é apresentado o valor mínimo de LAeq,5 em cada medição.

Apesar dos valores de LAeq,5 mínimos estarem muito próximos, os espectros de frequências não apresentam semelhanças, ver Figura 5.15. Na ausência de ruído de tráfego, são outras fontes de ruído que determinam os espectros de frequências, fazendo com que estes variem significativamente de zona para zona.

Tabela 5.14 – Valores mínimos de LAeq,5.

Medição	LAeq,5 [dB(A)]
PIM1	33,5
PIM2	33,3
PIIM1	31,6
PIIIM1	31,6

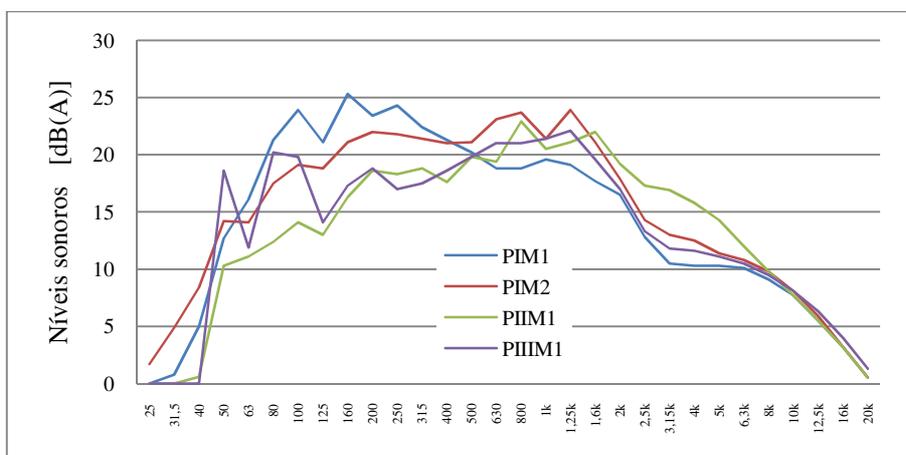


Figura 5.15 – Frequências no intervalo de LAeq,5 entre os 65 e os 70 dB(A) Diurno.

### 5.3.2 – Determinação dos indicadores Ld, Le, Ln e Lden

O artigo 11.º decreto-lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro [2] estipula que os limites de exposição ao ruído em função da classificação da zona (mista, sensível ou não classificada) têm de estar compreendidos entre determinados valores, ver Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Limites de exposição sonora definidos no Regulamento Geral do Ruído [2].

	<b>Lden</b>	<b>Ln</b>
Zonas mistas	< 65 dB(A)	< 55dB(A)
Zonas sensíveis	< 55dB(A)	< 45dB(A)
Zonas não classificadas	≤ 63 dB(A)	≤ 53 dB(A)

O indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (Lden), determina-se segundo o Regulamento Geral do Ruído, pela seguinte expressão [2]:

$$L_{den} = 10 \cdot \text{Log} \frac{1}{24} \left[ 13 \cdot 10^{\frac{Ld}{10}} + 3 \cdot 10^{\frac{Le+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{Ln+10}{10}} \right] \quad (5.1)$$

onde:

- Ld, Le e Ln são níveis sonoros médios de longa duração, respectivamente para o período diurno, entardecer e nocturno, determinados conforme a Norma NP1730-1:1996.

Cada um dos indicadores Ld, Le e Ln corresponde respectivamente ao nível sonoro médio de longa duração no período de referência diurno, entardecer e nocturno, determinado pela seguinte expressão [19b]:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \text{log} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq,T})_i}{10}} \right] \quad (5.2)$$

onde:

- N é o número total de amostras no período de referência;
- $(L_{Aeq,T})_i$  é o nível de pressão sonora contínuo equivalente, com ponderação A, em decibel, obtido na amostra i;

As amostras podem-se obter por medições contínuas em pelo menos dois dias, como recomenda [21] ou por medições que abrangem uma parte do intervalo de tempo de referência, como mencionado na NP 1730-2 [19b] em “Técnicas de Amostragem”.

Pretende-se que os níveis sonoros médios de longa duração sejam representativos de um ano, é portanto imprescindível conhecer as variações sazonais do ruído de tráfego, e no caso de se realizar apenas medições parciais é importante que se conheça as flutuações diárias, pois é com base no conhecimento desta informação que se determinam os períodos de medição correspondentes às condições de emissão de ruído mais desfavoráveis.

### 5.3.2.1 – Cálculo de *Lden* com base em medições contínuas

Determinaram-se os indicadores de ruído (*Lden*) para os pontos PI e PIII com base nas amostras recolhidas em cada ponto, e que correspondem a um mínimo de 24 horas de medições em contínuo, totalizando pelo menos 48 horas.

As amostras obtidas são apresentadas nos ficheiros A5 e A6 (CD em Anexo), relativos aos pontos de medição PI e PIII respectivamente. Cada ficheiro contém quatro tabelas (Níveis sonoros, Amostras Período Diurno, Amostras Período Entardecer e Amostras Período Nocturno). As amostras são organizadas em cada tabela, pela hora e dia em que foram obtidas.

Calcularam-se os níveis sonoros médios de longa duração para *Ld*, *Le* e *Ln*, utilizando todas as amostras disponíveis para cada período de referência. Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Indicadores de ruído com base em medições contínuas.

Ponto de Medição	Nº de amostras nos períodos de referência			Indicadores de ruído			
	Diurno	Entardecer	Nocturno	<i>Ld</i>	<i>Le</i>	<i>Ln</i>	<i>Lden</i>
PI	404	102	288	68	64	61	69
PIII	313	72	192	70	67	60	70

Independentemente da classificação da zona (sensível, mista ou não classificada), os valores obtidos para os indicadores *Lden* e *Ln* ultrapassam os limites de exposição a que se refere o artigo 11º do Regulamento Geral do Ruído [2]. Considerando os limites menos

restritivos ( $L_{den} < 65$  dB(A) e  $L_n < 55$  dB(A)) o  $L_{den}$  é excedido em 4 dB(A) no ponto PI e 5 dB(A) no ponto PIII. Relativamente ao  $L_n$ , este é excedido em 6 dB(A) no ponto PI e 5 dB(A) no ponto PIII.

### 5.3.2.2 – Cálculo do $L_{den}$ com base em medições parciais

A determinação dos indicadores de ruído ( $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ ) pode fazer-se a partir de medições que não abrangem a totalidade do período de referência em questão. Essa possibilidade traz algumas vantagens, principalmente economia de tempo na utilização dos equipamentos e a possibilidade de se realizarem medições em vários locais no mesmo dia, no entanto o desconhecimento de possíveis flutuações diárias na emissão de ruído e consequente escolha de intervalos de medição que não abrangem as condições mais gravosas, pode levar a diferenças consideráveis entre o valor de  $L_{Aeq,LT}$ , calculado com base em medições numa fracção do período de referência e o valor que se obteria considerando medições que abrangessem a totalidade desse período. Com o objectivo de avaliar essas diferenças, fizeram-se novos cálculos para a determinação de  $L_{den}$ , utilizando para tal os resultados das medições contínuas, nos quais se seleccionaram amostras relativas a quatro combinações de horas em cada período de referência, de modo a abranger situações que possam favorecer ou desfavorecer a diminuição dos valores de  $L_{den}$ .

Em cada combinação consideraram-se dois tempos de medição, 30 minutos e 60 minutos em dois dias consecutivos.

Na Tabela 5.17 apresentam-se as quatro combinações estudadas.

As amostras obtidas para cada combinação são apresentadas nos ficheiros A7 e A8 (ver CD em Anexo), correspondendo ao ponto de medição PI e PIII respectivamente.

Nas Tabelas 5.18 e 5.19 apresentam-se os resultados finais.

Analisando os resultados, verifica-se que as medições parciais permitiram determinar  $L_{den}$  com uma precisão de 1dB(A) em 14 dos 16 casos considerados. O indicador de ruído nocturno é o que apresenta maiores diferenças em relação ao valor esperado; no caso particular da combinação 1 para o ponto de medição PI, essa diferença é de 5 dB(A).

No período nocturno, os níveis de ruído mais desfavoráveis ocorrem em horas próximas das 23h00 ou das 7h00, medições parciais nestas horas permitem determinar  $L_n$  com um valor superior ao que se esperaria considerando medições contínuas em todo o período de referência. Isso verificou-se na combinação 3, em que o valor de  $L_n$ , determinado com amostras de  $L_{Aeq,5}$  entre as 23h00 e as 00h00 foi superior ao valor esperado.

No período de entardecer verifica-se uma acentuada diminuição dos níveis sonoros ao longo do tempo e as diferenças obtidas no  $L_e$  em relação ao valor esperado, considerando amostras de  $L_{Aeq,5}$  nos dois extremos do período de referência (20h00 e 22h00), foram de 3 dB(A) no ponto PI e 2 dB(A) no ponto PIII.

No período diurno as medições parciais permitiram determinar  $L_d$  com uma diferença nunca superior a 2 dB(A) em relação ao valor mais preciso, nem são esperadas diferenças mais significativas, visto que no troço da EN109 estudado os níveis de ruído mantêm-se aproximadamente constantes.

Tabela 5.17 – Combinações de horas para medições parciais.

	Período diurno			Período entardecer			Período nocturno		
	Hora de início		Duração	Hora de início		Duração	Hora de início		Duração
	1º dia	2º dia		1º dia	2º dia		1º dia	2º dia	
Combinação 1	8h00	8h00	30 min.	22h00	22h00	30 min.	1h30	1h30	30 min.
Combinação 2	12h30	12h30	30 min.	21h00	21h00	30 min.	0h00	0h00	30 min.
Combinação 3	16h00	16h00	30 min.	20h00	20h00	30 min.	23h00	23h00	30 min.
Combinação 4	8h00	12h30	30 min.	22h00	20h00	30 min.	1h30	23h00	30 min.
Combinação 1	8h00	8h00	60 min.	22h00	22h00	60 min.	1h30	1h30	60 min.
Combinação 2	12h30	12h30	60 min.	21h00	21h00	60 min.	0h00	0h00	60 min.
Combinação 3	16h00	16h00	60 min.	20h00	20h00	60 min.	23h00	23h00	60 min.
Combinação 4	8h00	12h30	60 min.	22h00	20h00	60 min.	1h30	23h00	60 min.

Tabela 5.18 – Indicadores de ruído obtidos com medições parciais no ponto PI.

	Tempo de Medição	Ld [dB(A)]	Le [dB(A)]	Ln [dB(A)]	Lden [dB(A)]
Combinação 1	30 min.	68	63	56	68
Combinação 2	30 min.	66	64	61	69
Combinação 3	30 min.	67	66	63	70
Combinação 4	30 min.	67	65	61	69
Combinação 1	60 min.	69	63	56	68
Combinação 2	60 min.	67	65	60	68
Combinação 3	60 min.	69	66	63	70
Combinação 4	60 min.	68	64	61	69
Considerando o total das amostras obtidas no ponto de medição		<b>68</b>	<b>64</b>	<b>61</b>	<b>69</b>

Tabela 5.19 – Indicadores de ruído obtidos com medições parciais no ponto PIII.

	Tempo de Medição	Ld [dB(A)]	Le [dB(A)]	Ln [dB(A)]	Lden [dB(A)]
Combinação 1	30 min.	71	67	59	71
Combinação 2	30 min.	69	68	61	70
Combinação 3	30 min.	72	69	63	73
Combinação 4	30 min.	70	68	62	71
Combinação 1	60 min.	71	66	57	70
Combinação 2	60 min.	70	67	61	70
Combinação 3	60 min.	71	68	63	72
Combinação 4	60 min.	70	67	61	70
Considerando o total das amostras obtidas no ponto de medição		<b>70</b>	<b>67</b>	<b>60</b>	<b>70</b>

## 5.4 – Conclusões

A análise feita ao resultado das medições em períodos de 24 horas permite-nos concluir que os níveis de ruído apresentam o mesmo padrão de variação ao longo do dia, independentemente do ponto de medição considerado, não existindo picos de ruído característicos de horas de ponta. O mesmo padrão observa-se quando se comparam medições em diferentes dias úteis.

Pontualmente, surgem durante o período diurno níveis elevados de ruído, acima dos 75 dB(A), que geralmente não ultrapassam períodos de tempo superiores a cinco minutos e que têm origem em diferentes fontes de ruído, distinguíveis pelo espectro de frequências. Contudo, não foi possível associar nenhum desses espectros ao ruído emitido pelos veículos identificados no Capítulo 6 para cada uma das categorias, visto existirem diferenças bastante significativas entre os espectros de frequências dos níveis de ruído de pico e o dos veículos rodoviários.

Ainda no período diurno, concluí-se que a maioria dos níveis de ruído (LAeq,5) situam-se entre os 65 e os 70 dB(A). No ponto de medição PI a percentagem de valores no referido intervalo é superior a 90% e no ponto PIII é de 70,6%, porém, há no ponto PIII um aumento da percentagem de veículos a emitir ruído no intervalo dos 70 aos 75 dB(A). O ruído expresso pelo indicador Ld é em PI de 68 dB(A) e em PIII de 70 dB(A).

O valor de Lden em PI é de 69 dB(A) e em PIII é de 70 dB(A), os quais ultrapassam os valores limite de exposição definidos pelo Regulamento Geral do Ruído, em pelo menos 4 dB(A).

Da comparação dos valores dos indicadores de ruído ambiente (Ld, Le, Ln e Lden), entre serem determinados por medições contínuas nos períodos de referência ou por medições parciais, conclui-se que as diferenças são no máximo de 3dB(A), sendo a hora de medição o factor que mais contribuiu para essas diferenças.

A escolha de um tempo de medição 30 minutos ou 60 minutos não altera o valor de Lden em mais de 1 dB(A).

O período do dia de maior ruído ambiente verifica-se entre as 7h30 e as 21h00, mantendo-se aproximadamente constante.

Durante o período noturno os níveis de ruído são inferiores a 55 dB(A) em menos de 24% das amostras de LAeq,5. Em termos de indicador Ln obtém-se o valor de 61dB(A), para o ponto de medição PI e 60 dB(A) para o ponto PIII, ultrapassando os valores limite de exposição em pelo menos 4 dB(A).

O tráfego rodoviário é a fonte de ruído predominante nos locais de medição, e da análise aos níveis de ruído LAeq,5 no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A), onde são mais frequentes, conclui-se que os espectros de frequências médios obtidos em cada medição para o mesmo local, são praticamente coincidentes.

Em cada um dos locais de medição (PI) e (PII, PIII) obtém-se um espectro de frequências médio característico, que diferem sobretudo nas bandas de 1/3 de oitava entre os 630Hz e os 1,6kHz.

## **CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DAS EMISSÕES DE RUÍDO NOS VEÍCULOS RODOVIÁRIOS**

### **6.1 – Considerações gerais**

O modelo HARMONOISE/IMAGINE, apresentado no Capítulo 3, determina o ruído emitido pelos veículos rodoviários ( $L_w$ ) a partir de um conjunto de cálculos onde são consideradas variáveis, tais como a categoria dos veículos, velocidade de circulação, condições de condução com influência na aceleração/desaceleração, variações regionais, entre outras.

No mesmo capítulo referiu-se que nos veículos ligeiros, o ruído do motor predomina para velocidades inferiores a 30 km/h e que o ruído de contacto piso/pneu torna-se mais intenso com o aumento da velocidade. Foram ainda referidos outros factores com significativa importância no ruído emitido, principalmente o estilo de condução próprio de cada condutor perante determinadas condições de circulação e as alterações efectuadas nos veículos que os tornam mais ruidosos.

Para se compreender o ruído de tráfego numa determinada zona é importante conhecer que agentes estão a contribuir para a emissão de ruído.

No presente capítulo pretende-se analisar o ruído emitido pela passagem de veículos em cinco pontos de medição ao longo do troço da EN109 em estudo, nestes pontos as condições de circulação são distintas, de forma a determinar quais as diferenças que se observam relativamente aos níveis sonoros e espectro de frequências.

## 6.2 – Resultado das medições

De acordo com as metodologias adoptadas, elaborou-se para cada ponto de medição uma tabela onde se indica quantos veículos passaram em cada segundo de medição, a que categoria correspondem e quais os valores de LAeq,T, LAIT, LAFmax, LASmax e LAImax que lhe estão associados. Noutra tabela e do mesmo modo, foram registados os espectros de frequências em cada segundo de medição.

O nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, com tempo de integração T (LAeq,T), que se apresenta no resultado das medições, corresponde a 1 segundo de integração, com ponderação de tempo *Fast*. Adiante designar-se-á simplesmente por LAeq.

As tabelas podem ser consultadas nos ficheiros B1, B2, B3, B4 e B5 (CD em Anexo), correspondendo respectivamente a cada ponto de medição de P1 a P5.

A partir dessas tabelas foi possível, com base nos critérios definidos no Capítulo 4 em 4.4.2.2.2, identificar quais os veículos que circulavam isolados (para todas as categorias de veículos) e quais os que circulavam próximos (apenas para veículos da categoria 1). Os resultados são apresentados nos ficheiros B6, B7, B8, B9 e B10 (CD em Anexo), relativos a cada ponto de medição. Nestes mesmos ficheiros apresentam-se ainda as tabelas seguintes:

Veículos Cat1 por intervalo – Nesta tabela dispuseram-se por ordem crescente de LAeq, os níveis sonoros emitidos pelos veículos da categoria 1, identificados como isolados. Tendo-se agrupado os níveis sonoros por intervalos de LAeq, os quais estão definidos na Tabela 6.1.

Níveis sonoros dos veículos – Colocaram-se nesta tabela todos os valores de LAeq ordenados por ordem crescente, correspondentes aos veículos considerados para análise, identificando quais deles é que passaram isolados.

Ruído mínimo – Elaborou-se esta tabela com base nos valores de LAeq inferiores a 55 dB(A). Estes níveis de ruído são observáveis entre passagens de veículos suficientemente espaçadas, em que uma importante parte do ruído emitido já se dissipou.

Tabela 6.1 – Intervalos de LAeq.

Intervalos de LAeq [dB(A)]
<45
45 -50
50 -55
55 - 60
60 -65
65 - 70
70 -75
75 - 80
80 <

Tabela 6.2 – Resumo das tabelas presentes em cada ficheiro da pasta ‘Tabelas (B) referidas no Capítulo 6’ do CD em Anexo.

Ficheiro	Ponto de medição	Tabelas
B1	P1	
B2	P2	1. Dados da medição;
B3	P3	2. Níveis sonoros e veículos;
B4	P4	3. Frequências.
B5	P5	
B6	P1	1. Veículos Cat1;
B7	P2	2. Veículos Cat2;
B8	P3	3. Veículos Cat3;
B9	P4	4. Veículos Cat4;
B10	P5	5. Veículos Cat5
		6. Veículos Cat1 próximos;
		7. Veículos Cat1 por intervalo;
		8. Níveis sonoros dos veículos;
		9. Ruído mínimo.

Ao longo do presente capítulo, a referência às tabelas faz-se pelo nome do ficheiro e número de ordenação. Como exemplo, a tabela designada de B3-2 corresponde, segundo a Tabela 6.2, aos ‘Níveis sonoros e veículos’ obtidos no ponto de medição P3 e que se encontra no ficheiro B3, do mesmo modo, a tabela B8-9 corresponde à tabela designada de ‘Ruído mínimo’ obtidos na medição P3 e que se encontra no ficheiro B9.

Nas Tabelas 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7, resume-se o total de veículos por categoria, identificados nas medições, contabilizando quantos passaram isolados, próximos ou não foram considerados para estudo, de acordo com os critérios de classificação definidos no Capítulo 4 em 4.4.2.2.2.

Tabela 6.3 – Número de veículos identificados na medição P1.

	Veículos			Total
	Isolados	Próximos	Não considerados	
Categoria 1	90	95	42	227
Categoria 2	8	-	4	12
Categoria 3	5	-	1	6
Categoria 4	1	-	0	1
Categoria 5	2	-	4	6
Hora de início: 14h25; Tempo de medição: 1800 [s]; Ficheiro: B1				

Tabela 6.4 – Número de veículos identificados na medição P2.

	Veículos			Total
	Isolados	Próximos	Não considerados	
Categoria 1	81	104	30	215
Categoria 2	12	-	11	23
Categoria 3	12	-	4	16
Categoria 4	0	-	1	1
Categoria 5	7	-	2	9
Hora de início: 10h13; Tempo de medição: 1800 [s]; Ficheiro: B2				

Tabela 6.5 – Número de veículos identificados na medição P3.

	Veículos			Total
	Isolados	Próximos	Não considerados	
Categoria 1	80	110	68	258
Categoria 2	10	-	15	25
Categoria 3	7	-	2	9
Categoria 4	0	-	1	1
Categoria 5	5	-	4	9
Hora de início: 11h08; Tempo de medição: 1800 [s]; Ficheiro: B3				

Tabela 6.6 – Número de veículos identificados na medição P4.

	Veículos			Total
	Isolados	Próximos	Não considerados	
Categoria 1	41	182	95	318
Categoria 2	8	-	16	24
Categoria 3	14	-	0	14
Categoria 4	0	-	0	0
Categoria 5	3	-	4	7
Hora de início: 16h00; Tempo de medição: 1800 [s]; Ficheiro: B4				

Tabela 6.7 – Número de veículos identificados na medição P5.

	Veículos			Total
	Isolados	Próximos	Não considerados	
Categoria 1	135	142	77	354
Categoria 2	10	-	9	19
Categoria 3	7	-	2	9
Categoria 4	0	-	0	0
Categoria 5	7	-	4	11
Hora de início: 11h15; Tempo de medição: 2808 [s]; Ficheiro: B5				

## 6.3 – Análise do resultado das medições

### 6.3.1 – Variação dos níveis sonoros com a passagem de veículos

Representando num gráfico as variações de LAeq nos primeiros 500 segundos de cada medição, como se apresenta nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5, constata-se que nos pontos P1 e P2 a amplitude das variações é mais significativa que nos pontos de medição P3 e P4, entre os factores que contribuem para estas diferenças estão a maior velocidade de circulação dos veículos em P1 e P2, que elevam frequentemente LAeq para valores acima dos 65 dB(A) e os maiores intervalos tempo entre passagens de veículos, que favorece a dissipação do ruído e por conseguinte a diminuição de LAeq para valores inferiores a 50dB(A).

Em P3 e P4 os níveis sonoros não descem abaixo dos 50 dB(A), em parte devido à reduzida velocidade de circulação, que permite uma maior aproximação entre veículos e consequente diminuição dos intervalos de tempo para dissipação do ruído. Mesmo que não se registem passagens de veículos é frequente a presença de outros nas proximidades do local de medição, os quais contribuem para o ruído instalado.

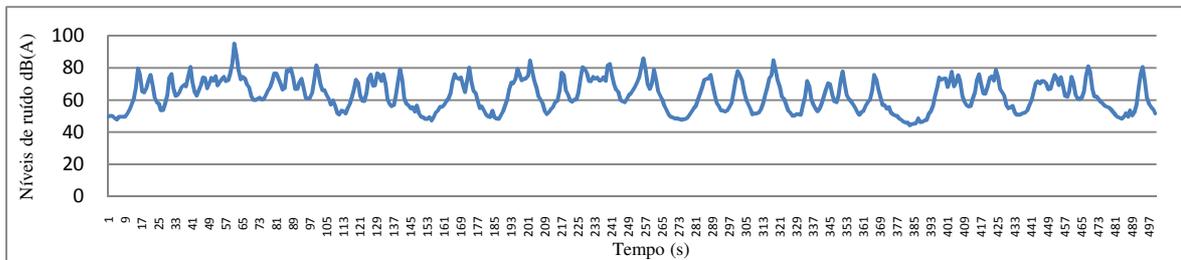


Figura 6.1 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P1.

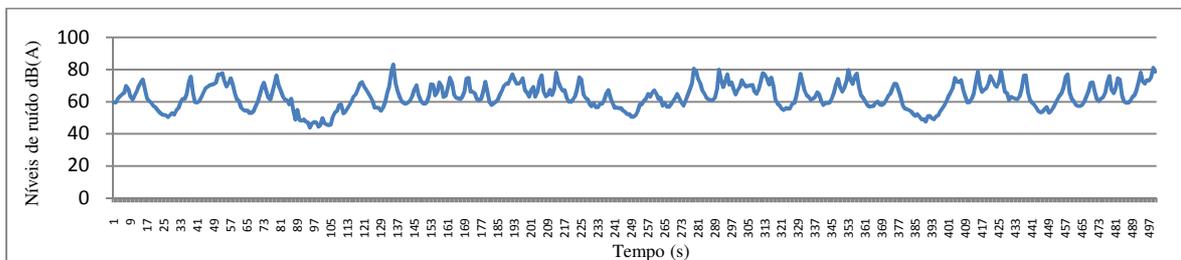


Figura 6.2 – Variação de LAeq nos primeiros 500 segundos da medição P2.

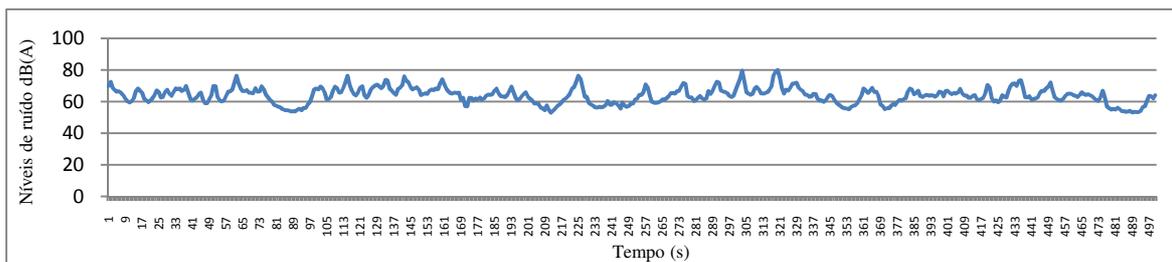


Figura 6.3 – Variação de L<sub>Aeq</sub> nos primeiros 500 segundos da medição P3.

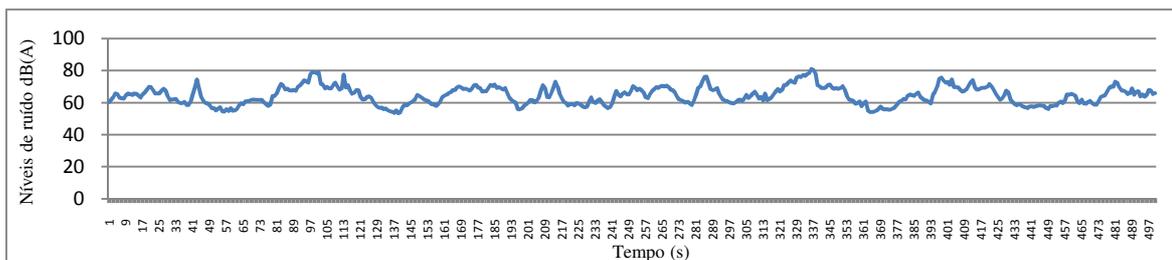


Figura 6.4 – Variação de L<sub>Aeq</sub> nos primeiros 500 segundos da medição P4.

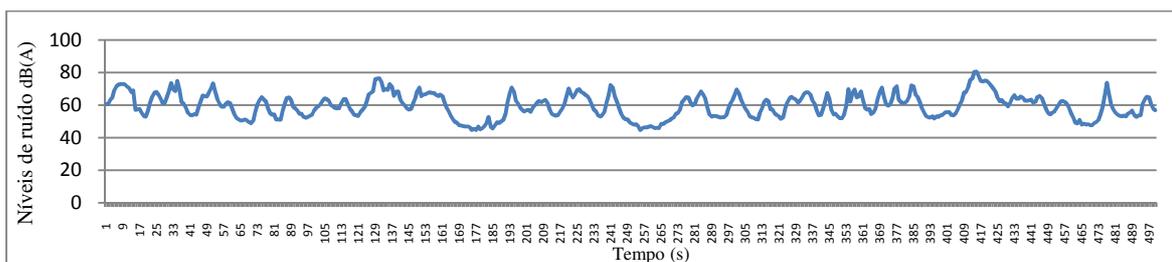


Figura 6.5 – Variação de L<sub>Aeq</sub> nos primeiros 500 segundos da medição P5.

No ponto de medição P5, o baixo volume de tráfego possibilita intervalos de tempo mais longos entre passagens de veículos, tendo permitido que se registassem níveis de ruído inferiores a 50 dB(A).

Na Tabela 6.8 apresentam-se os níveis sonoros médios obtidos em cada ponto de medição, comparando-os, verifica-se uma diminuição de 5,1 dB(A) entre o ponto P1 e P5.

A diferença mínima é de 0,7 dB(A) e verifica-se entre P3 e P4.

Tabela 6.8 – Nível sonoro médio, calculado para cada ponto de medição.

	P1	P2	P3	P4	P5
L <sub>Aeq</sub> medição [dB(A)]	71,5	70,1	67,6	68,3	66,4

### 6.3.2 – Níveis de ruído emitidos por categoria de veículos

Para se compreender a contribuição de cada veículo para a variação dos níveis de ruído, fez-se a identificação de todos os veículos por categorias, como descrito no ponto 4.4.2.2.2 do Capítulo 4, os registos são apresentas nas Tabelas de 1 a 6 nos ficheiros B6, B7, B8, B9 e B10 do CD em Anexo.

Nos veículos isolados (ver Tabelas 1 a 5 dos referidos ficheiros), pretende-se determinar em que intervalos de LAeq se situam os níveis de ruído emitidos e quais os seus espectros de frequências.

Nas Tabelas B6-6 a B10-6 apresentam-se os segundos de medição em que foram registadas passagens de veículos classificados como próximos e cada segundo tem um valor de LAeq associado. Relativamente a este LAeq, importa referir que não se trata do nível sonoro desse determinado veículo, visto haver uma parte não quantificável emitida por outros veículos próximos. O que se pretende é saber que, no máximo, foram emitidos determinados níveis de ruído, aquando da passagem dos veículos. Nestes veículos classificados como próximos não se analisou espectro de frequências, pois este não pode ser atribuído a um veículo em particular.

Após a identificação de todos os veículos isolados e próximos, ordenaram-se nas Tabelas B6-8 a B10-8 os veículos por ordem crescente de LAeq emitido.

As Tabelas 6.9 a 6.13 são o resumo das Tabelas B6-8 a B10-8.

Tabela 6.9 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P1.

Categoria	Isolado	LAeq < 65		65 ≤ LAeq < 70		70 ≤ LAeq < 75		75 ≤ LAeq < 80		LAeq ≥ 80	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
1	Sim	1		3		35		43		9	
	Não		1,1		6,0	25	32,4	51	50,8	9	9,7
2	Sim					3	37,5	4	50,0	1	12,5
3	Sim							1		1	
	Não*							2	60,0	1	40,0
4	Sim										
5	Sim					1	50,0	1	50,0		

N.º - Número de veículos; % - Percentagem do total de veículos; LAeq – Nível sonoro em dB(A)

\* Caso particular de acordo com 4.4.2.2.2.1

Tabela 6.10 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P2.

Categoria	Isolado	LAeq < 65		65 ≤ LAeq < 70		70 ≤ LAeq < 75		75 ≤ LAeq < 80		LAeq ≥ 80	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
1	Sim	0		11	18,4	38	49,2	30	29,2	2	1,6
	Não	3	1,6	23		53		24		1	
2	Sim			1	8,3	5	41,7	6	50,0		
3	Sim					1	8,3	3	33,3	7	58,3
	Não*					0		1		0	
4	Sim										
5	Sim			2	28,6	1	14,3	2	28,6	2	28,6

N.º - Número de veículos; % - Percentagem do total de veículos; LAeq – Nível sonoro em dB(A)

\* Caso particular de acordo com 4.4.2.2.2.1

Tabela 6.11 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P3.

Categoria	Isolado	LAeq < 65		65 ≤ LAeq < 70		70 ≤ LAeq < 75		75 ≤ LAeq < 80		LAeq ≥ 80	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
1	Sim	12	10,5	52	63,1	13	22,1	3	3,7	1	0,5
	Não	8		68		29		4		0	
2	Sim			2	20,0	7	70,0	1	10,0		
3	Sim					1	14,3	3	42,9	3	42,9
	Não*					0		0		0	
4	Sim										
5	Sim			2	40,0	2	40,0	1	20,0		

N.º - Número de veículos; % - Percentagem do total de veículos; LAeq – Nível sonoro em dB(A)

\* Caso particular de acordo com 4.4.2.2.2.1

Tabela 6.12 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P4.

Categoria	Isolado	LAeq < 60		60 ≤ LAeq < 65		65 ≤ LAeq < 70		70 ≤ LAeq < 75		75 ≤ LAeq < 80		LAeq ≥ 80	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
1	Sim	1	1,8	10	20,2	19	50,7	10	26,0	1	1,3		
	Não	0		35		94		48		2			
2	Sim			2	22,2	1	11,1	4	44,4	1	11,1	1	11,1
3	Sim					1	7,7	1	15,4	6	46,2	5	38,5
	Não*					0		1		0		0	
4	Sim												
5	Sim							3	100				

N.º - Número de veículos; % - Percentagem do total de veículos; LAeq – Nível sonoro em dB(A)

\* Caso particular de acordo com 4.4.2.2.2.1

Tabela 6.13 – Número de veículos por categoria e por intervalo de LAeq na medição P5.

Categoria	Isolado	LAeq < 60		60 ≤ LAeq < 65		65 ≤ LAeq < 70		70 ≤ LAeq < 75		75 ≤ LAeq < 80		LAeq ≥ 80	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
1	Sim	1	0,4	34	20,6	57	48,0	42	29,6	1	1,4		
	Não			23		76		40		3			
2	Sim			1	10,0	3	30,0	2	20,0	4	40,0		
3	Sim							1	14,3	6	85,7		
	Não*							0		0			
4	Sim												
5	Sim					1	14,3	4	57,1	1	14,3	1	14,3

N.º - Número de veículos; % - Percentagem do total de veículos; LAeq – Nível sonoro em dB(A)

\* Caso particular de acordo com 4.4.2.2.2.1

Comparando-se os resultados das cinco medições, verifica-se que a percentagem de veículos da categoria 1 a emitir níveis de ruído superiores a 70 dB(A) é de 93 % em P1 e 80% em P2, bastante superiores às percentagens que se obtém nos pontos P3 (26%), P4 (27%) e P5 (31%). Há portanto um acompanhamento da diminuição dos níveis de ruído verificados na passagem de P1 até P5, apresentados na Tabela 6.8.

No que respeita aos níveis ruído acima dos 70 dB(A) emitidos por veículos da categoria 2, verifica-se que a percentagem em P1, P2 e P3 foi superior a 80%, enquanto nos pontos P4 e P5 ficou em 67 e 60% respectivamente. Há igualmente uma diminuição do número de veículos a produzir níveis de ruído na passagem de P1 para P5, no entanto o número de veículos identificados não permite fazer uma análise conclusiva.

No caso dos veículos da categoria 3, a diminuição do ruído emitido não é tão notória, pois 89% dos 44 veículos identificados na totalidade das medições, emitiram níveis de ruído (LAeq) superiores a 75 dB(A).

### 6.3.3 – Análise do espectro de frequências

Os vários locais da EN109 estudados têm características de circulação que os distinguem, essas diferenças revelam-se nos níveis sonoros produzidos pelos veículos. A análise anterior permite verificar uma clara diminuição nos níveis de ruído emitido pelos veículos da categoria 1, entre P1 e P5.

Importa agora compreender como essas diferenças nos níveis de ruído e condições de circulação se manifestam no espectro de frequências de cada categoria de veículos.

### 6.3.3.1 – Veículos da categoria 1

Das Tabelas B6-7 a B10-7, que apresentam os níveis sonoros (L<sub>Aeq</sub>) ordenados por ordem crescente e agrupados em intervalos, constata-se que a diferença entre os valores extremos de L<sub>Aeq</sub> é superior a 16 dB(A), ver Tabela 6.14. Analisando subjectivamente os registos em vídeo, verifica-se que nos pontos P1, P3, P4 e P5 os veículos que produziram menores níveis de ruído circulavam com uma velocidade reduzida, sem que se evidenciasse ruídos associáveis ao motor.

No caso dos veículos que produziram níveis sonoros superiores a 75 dB(A), observou-se que nos pontos de medição P1 e P2, a principal causa para o aumento do ruído produzido é a maior velocidade de circulação, no entanto também se observaram veículos com velocidades mais reduzidas, mas em clara aceleração. Nos restantes pontos de medição há sempre uma relação entre velocidade, aceleração e rotações do motor que não é perfeitamente distinguível.

Tabela 6.14 – Valores extremos de L<sub>Aeq</sub> e comparação entre L<sub>Aeq\_cat1</sub> e L<sub>Aeq\_medição</sub>.

Medição	Amostras	L <sub>Aeq_min</sub>	L <sub>Aeq_max</sub>	L <sub>Aeq_max</sub> – L <sub>Aeq_min</sub>	L <sub>Aeq_cat1</sub> [dB(A)]	L <sub>Aeq_medição</sub>
P1	90	59,0	81,7	22,7	76,6	71,5
P2	81	67,2	83,2	16,0	74,9	70,1
P3	80	61,7	81,6	19,9	69,8	67,6
P4	41	59,0	75,5	16,5	69,2	68,3
P5	135	58,5	76,0	17,5	68,9	66,4

L<sub>Aeq\_min</sub> – Nível sonoro, ponderado A, mínimo [dB(A)];

L<sub>Aeq\_max</sub> – Nível sonoro, ponderado A, máximo [dB(A)];

L<sub>Aeq\_cat1</sub> – Nível sonoro médio, ponderado A, de veículos da categoria 1 isolados [dB(A)];

L<sub>Aeq\_medição</sub> – Nível sonoro médio, ponderado A, do total da medição [dB(A)].

Da Tabela 6.14 também se verifica que de P1 para P5 há uma diminuição de 7,7 dB(A) no valor do L<sub>Aeq\_cat1</sub>, acompanhando assim a diminuição 5,1 dB(A) no L<sub>Aeq\_medição</sub>, como se esperaria, visto haver uma significativa diferença de velocidades de circulação entre estes dois pontos.

As diferenças nos níveis sonoros médios (L<sub>Aeq\_cat1</sub>) são no máximo de 0,9 dB(A) entre os pontos P3, P4 e P5. Para os mesmos pontos, a diferença máxima no

L<sub>Aeq</sub>\_medição é de 1,9 dB(A). Comparando os pontos P1 e P2, verifica-se uma diferença de 1,7 dB(A) no L<sub>Aeq</sub>\_cat1 e 1,4 dB(A) no valor de L<sub>Aeq</sub>\_medição.

Assim as diferenças mais significativas nos níveis de ruído (5,1 a 7,7 dB(A)), observam-se quando se comparam os valores de L<sub>Aeq</sub>\_cat1 de P1 e P2 com os de P3, P4 e P5.

Na Figura 6.6 desenharam-se os espectros de frequências dos veículos isolados que passaram no ponto P1, onde se registou a maior diferença (22,7 dB(A)) entre L<sub>Aeq</sub>\_min e L<sub>Aeq</sub>\_max, tendo-se assinalado a vermelho o espectro frequências do L<sub>Aeq</sub> máximo e a verde o do mínimo. Fez-se o mesmo na Figura 6.7, mas considerando o ponto P2, onde se registou a menor diferença (16 dB(A)) entre L<sub>Aeq</sub> mínimo e máximo. Comparando os espectros, constata-se que estes desenvolvem-se de forma idêntica ao longo das bandas de frequência.

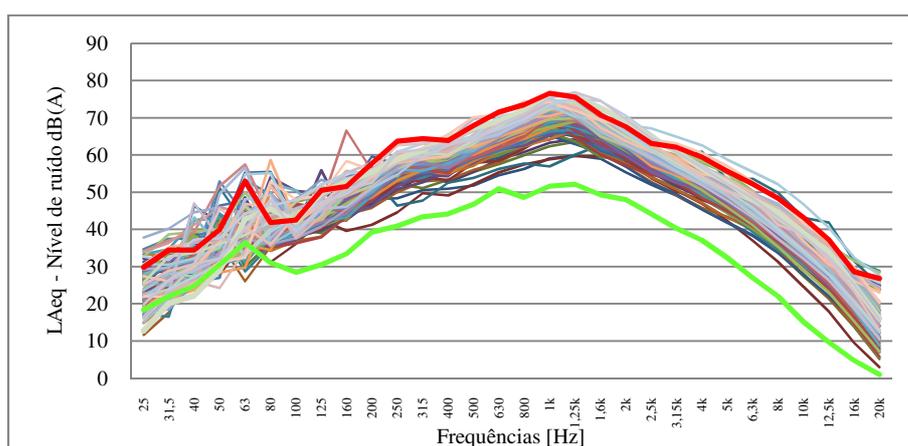


Figura 6.6 – Espectros de frequências do ruído emitido por veículos da categoria 1 que passaram isolados no ponto de medição P1.

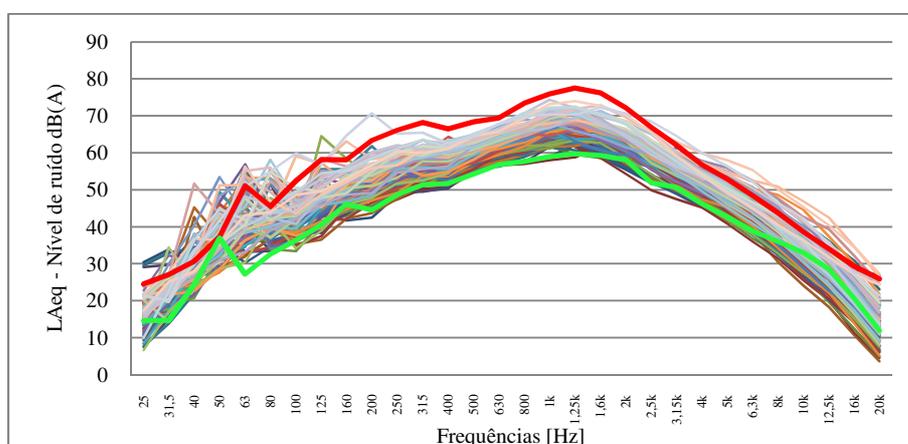


Figura 6.7 – Espectros de frequências do ruído emitido por veículos da categoria 1 que passaram isolados no ponto de medição P2.

Analisando o desvio padrão dos níveis sonoros em cada banda de 1/3 de oitava, das amostras de LAeq obtidas de veículos da categoria 1 isolados em cada ponto de medição, constata-se, pela Figura 6.8, que os níveis sonoros tendem a variar menos nas bandas de frequência entre os 250Hz e os 4kHz. Os valores dos desvios padrão são apresentando-se os resultados na Tabela 6.16.

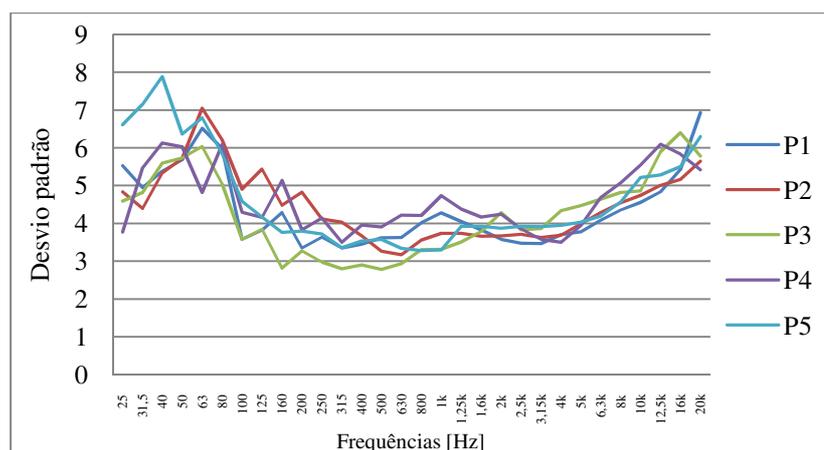


Figura 6.8 – Desvios padrão dos níveis de ruído, emitido por veículos isolados da categoria 1, em função da banda de frequência.

Do mesmo modo que se determinou um nível sonoro médio (LAeq\_cat1) dos veículos isolados em cada ponto de medição, fez-se o cálculo da média logarítmica em cada banda de 1/3 de oitava. Os resultados são apresentados na Tabela 6.17.

Os espectros de frequências obtidos e apresentados na Figura 6.9 representam os espectros médios em cada ponto de medição e permitem determinar, que as diminuições observadas no LAeq\_cat1 (Tabela 6.14) dos pontos P1 e P2 para os pontos P3, P4 e P5, dão-se principalmente pela diminuição dos níveis sonoros nas bandas de frequência entre os 250Hz e os 3.15kHz.

Os espectros de frequências médios entre os pontos P3, P4 e P5 são muito idênticos, porque nas diferentes condições de circulação identificadas nesses pontos não existe um factor (velocidade ou aceleração) gerador de ruído que se sobressaía e que por conseguinte alterasse o espectro de frequências.

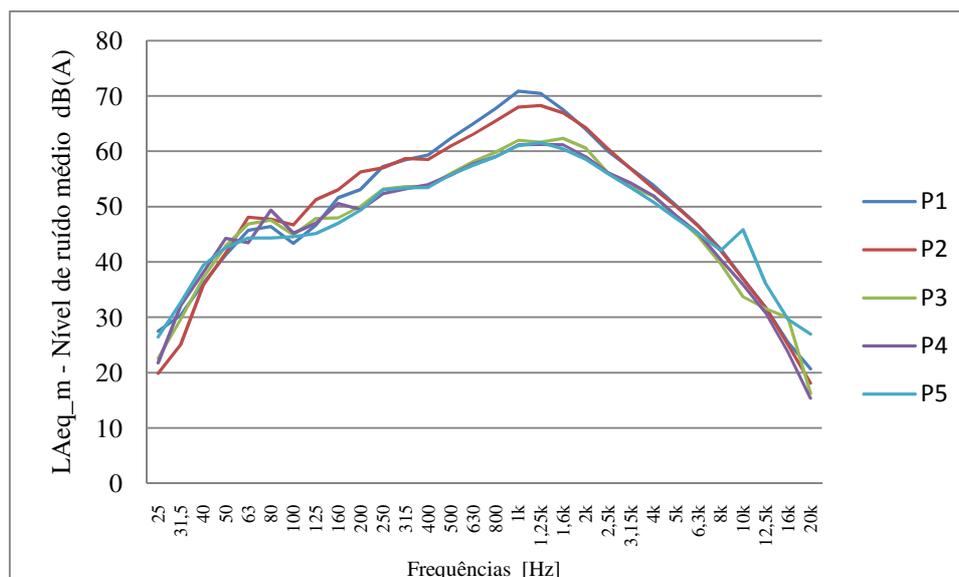


Figura 6.9 – Espectros de frequência médios do ruído emitido por veículos da categoria 1 em cada ponto de medição.

Na análise das frequências que se fez até aqui, consideraram-se todos os veículos isolados da categoria 1, os quais emitiram níveis sonoros num intervalo de no mínimo 16 dB(A). Comparando os espectros de frequências de LAeq\_cat1 em intervalos de 5 dB(A), pretende-se identificar que alterações ocorrem nos referidos espectros, considerando o mesmo intervalo em diferentes pontos de medição.

Os níveis sonoros e respectivos espectros obtidos em cada intervalo são apresentados nas Tabelas de B6-7 a B10-7 (CD em Anexo).

Na Tabela 6.15 apresenta-se o número de veículos isolados que passaram em cada ponto de medição e que emitiram níveis de ruído num determinado intervalo, onde se verifica mais uma vez, que os níveis elevados surgem com mais frequência nos pontos P1 e P2.

Tabela 6.15 – Número de amostras de veículos isolados em cada intervalo de LAeq e em cada ponto de medição.

Intervalos LAeq [dB(A)]	P1	P2	P3	P4	P5*
60 - 65	1	0	12	10	34
65 - 70	3	11	52	19	57
70 - 75	35	38	13	10	42
75 - 80	43	30	2	1	1

\*A duração da medição tem mais 1008 segundos que as realizadas nos restantes pontos.

Fez-se, em cada intervalo e para cada ponto, o cálculo da média logarítmica dos níveis sonoros por banda de 1/3 de oitava, considerando apenas os intervalos que reúnem pelo menos 10 amostras, obtendo-se deste modo o espectro de frequências médio.

Na Tabela 6.18 apresentam-se os espectros de frequência médios, por ponto e por intervalo de LAeq, e na Tabela 6.19 os respectivos desvios padrão.

Os desvios padrão no valor de LAeq são de 1,6 dB(A), no máximo. Relativamente ao espectro de frequências, os desvios padrão inferiores a 2,5 dB(A) verificam-se nas bandas de 1/3 de oitava entre os 250Hz e os 2,5kHz.

Desenharam-se os espectros médios obtidos em cada intervalo, como se apresenta nas Figuras 6.10 a 6.13, e comparando-os verifica-se que diferenças mais significativas ocorrem nas bandas de frequência abaixo dos 200 Hz.

Dois dos espectros médios da medição P5, designadamente os que se apresentam nas Figuras 6.10 e 6.12, apresentam desvios significativos a partir dos 8 kHz, o primeiro deve-se à passagem de pelo menos três veículos, que elevaram os níveis sonoros nessas bandas de frequência; o segundo desvio foi originado pela passagem de um veículo que provocou o aumento significativo nas bandas de frequência entre os 8kHz e os 12,5kHz, e pela passagem de mais quatro veículos que elevaram os níveis sonoros nas bandas de frequência a partir dos 10kHz.

Os espectros médios determinados para cada medição, permitem afirmar que, escolhendo um intervalo de LAeq, as frequências que se obtêm não diferem significativamente dependendo do ponto de medição que se considere. Não se esperam grandes desvios nas bandas de frequência entre os 200Hz e os 6,3kHz.

Na Figura 6.14 desenharam-se os espectros de frequências dos quatro intervalos analisados, em que cada cor representa um intervalo. Comparando os espectros nos vários intervalos de LAeq, verifica-se que os aumentos dos níveis sonoros ocorrem sobretudo nas bandas de frequência entre os 250Hz e os 3,15kHz.

Tabela 6.16 - Desvios padrão dos níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 1, em cada banda de frequências e por medição.

		Desvio padrão por banda de 1/3 de oitava																																
Medição	L <sub>Aeq</sub>	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k			
P1	3,7	5,5	4,9	5,4	5,7	6,5	6,0	3,6	3,8	4,3	3,4	3,6	3,4	3,5	3,6	3,6	4,0	4,3	4,1	3,8	3,6	3,6	3,5	3,5	3,7	3,8	4,1	4,4	4,6	4,8	5,4	6,9		
P2	3,4	4,8	4,4	5,3	5,7	7,1	6,2	4,9	5,4	4,5	4,8	4,1	4,0	3,7	3,3	3,2	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,7	4,0	4,3	4,5	4,8	5,0	5,2	5,6		
P3	3,2	4,6	4,8	5,6	5,7	6,0	5,0	3,6	3,9	2,8	3,3	3,0	2,8	2,9	2,8	2,9	3,3	3,3	3,5	3,8	4,3	3,8	3,9	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,9	6,4	5,8			
P4	3,8	3,8	5,5	6,1	6,0	4,8	6,1	4,3	4,2	5,1	3,8	4,1	3,5	4,0	3,9	4,2	4,2	4,7	4,4	4,2	4,2	4,2	3,9	3,6	3,5	3,9	4,7	5,1	5,5	6,1	5,8	5,4		
P5	3,4	6,6	7,2	7,9	6,4	6,8	5,8	4,6	4,2	3,8	3,8	3,7	3,4	3,5	3,6	3,3	3,3	3,3	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,2	4,6	5,2	5,3	5,5	6,3		

Tabela 6.17 – Média de L<sub>Aeq</sub> e espectro de frequências médio de todos os veículos da categoria 1, por medição.

		L <sub>Aeq,m</sub> por banda de frequência [dB(A)]																															
Medição	L <sub>Aeq</sub> [dB(A)]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k		
P1	76,6	27,4	30,3	36,1	41,3	45,7	46,4	43,4	46,7	51,6	53,1	57,3	58,5	59,3	62,4	65,0	67,7	70,9	70,5	67,5	64,0	60,0	56,9	53,9	50,3	46,6	42,3	37,0	31,8	25,5	20,7		
P2	74,9	19,8	25,0	35,8	41,6	48,1	47,8	46,7	51,3	53,1	56,3	57,0	58,7	58,5	61,0	63,1	65,5	68,0	68,3	66,9	64,3	60,4	56,9	53,4	50,1	46,5	42,0	37,0	31,8	25,0	18,1		
P3	69,8	22,5	29,6	37,1	42,9	46,9	47,6	44,9	47,9	47,9	50,1	53,2	53,6	53,7	56,0	58,2	59,9	62,0	61,7	62,3	60,6	56,0	53,6	52,0	48,3	44,6	39,7	33,7	31,6	29,9	16,3		
P4	69,2	21,7	32,0	38,1	44,3	43,5	49,4	45,2	47,0	50,5	49,5	52,4	53,2	54,0	55,7	57,7	59,1	61,2	61,2	61,2	59,0	56,1	54,2	52,0	48,5	45,2	40,4	35,9	30,8	23,7	15,4		
P5	68,9	26,4	32,6	39,4	42,6	44,4	44,3	44,6	45,1	47,0	49,4	53,1	53,4	53,4	55,8	57,5	59,1	61,0	61,6	60,4	58,6	55,9	53,4	50,9	47,9	45,2	42,1	45,9	36,1	29,6	27,0		

Tabela 6.18 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 1, por intervalo.

Intervalo de LAeq [dB(A)]	Amostragem	Método	LAeq_m [dB(A)]	LAeq_m por banda de frequência [dB(A)]																															
				25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k		
<b>60-65</b>	1	P1	59,0	18,4	22,0	24,7	30,5	36,4	31,0	28,4	30,5	33,4	39,2	40,9	43,4	44,1	46,7	50,9	48,6	51,6	52,1	49,3	48,0	44,1	40,3	37,1	32,4	27,0	22,0	15,1	9,6	4,7	1,0		
	0	P2																																	
	12	P3	64,0	18,9	31,3	35,5	36,0	43,6	39,2	40,6	43,5	44,2	46,4	49,0	49,9	49,3	51,7	54,3	54,5	56,4	55,7	54,5	52,1	49,9	48,3	45,3	43,2	38,3	33,1	27,1	21,0	14,9	7,3		
	10	P4	63,3	21,3	34,6	41,1	40,0	43,6	43,2	44,3	43,5	46,5	47,3	49,1	48,4	49,9	51,4	53,4	54,7	54,9	54,7	52,7	50,6	49,1	47,2	43,0	39,4	34,2	28,6	23,1	15,8	7,4			
	34	P5	63,7	24,3	28,1	33,4	40,0	40,5	38,7	42,6	40,9	43,1	44,4	48,1	49,4	49,2	50,8	52,8	54,4	56,3	55,7	54,5	52,8	50,4	48,1	45,7	42,5	40,0	36,9	32,5	28,3	23,0	15,7		
<b>65 - 70</b>	3	P1	67,8	24,1	26,6	32,7	42,2	34,9	36,0	40,8	41,2	43,0	47,2	49,4	50,5	51,4	53,5	56,0	58,1	60,4	61,4	60,2	57,5	53,4	50,4	47,5	43,3	38,6	33,4	28,0	21,9	14,1	5,8		
	11	P2	68,7	24,4	27,4	34,7	38,2	39,3	43,0	38,9	41,7	45,7	46,7	49,8	51,6	52,0	55,2	57,1	59,8	62,6	61,7	60,1	57,7	53,7	51,2	48,8	42,2	37,9	33,1	28,2	23,3	18,3			
	52	P3	67,8	23,5	29,5	37,0	43,9	44,1	45,1	45,4	48,3	47,9	49,1	51,9	52,7	52,6	55,2	57,1	58,7	60,5	59,8	58,6	56,4	53,5	51,9	48,6	46,0	42,7	38,0	32,0	26,0	20,0	14,6		
	19	P4	68,0	22,6	32,0	38,0	40,7	43,0	48,8	45,9	47,8	50,4	49,2	52,8	53,1	53,0	55,7	56,8	58,3	59,8	59,5	57,9	54,8	53,0	50,9	47,3	44,5	39,3	35,5	30,2	22,3	15,9			
	57	P5	67,5	26,8	32,3	38,1	41,3	46,3	45,9	44,6	45,4	45,6	48,1	51,7	52,0	51,9	54,4	56,2	58,0	59,9	59,9	58,7	56,8	54,4	52,7	49,8	46,8	44,5	41,3	36,5	33,2	27,1	20,9		
<b>70-75</b>	35	P1	73,0	27,3	29,7	36,3	40,8	43,1	44,5	42,9	46,2	47,8	51,8	54,9	55,9	56,3	59,3	61,8	64,0	67,0	66,5	64,3	60,9	57,1	54,3	51,9	47,8	44,6	40,3	34,9	31,0	24,8	20,6		
	38	P2	72,4	16,8	23,4	32,5	40,8	48,3	46,0	42,5	51,2	50,4	52,9	54,0	55,8	56,5	59,2	61,0	62,9	65,1	65,4	64,2	61,8	58,2	55,5	52,3	48,7	45,0	40,7	35,5	30,2	23,3	15,3		
	13	P3	71,9	21,0	28,6	38,9	41,1	52,3	53,2	44,9	48,6	49,3	53,3	54,6	56,5	56,6	58,9	61,2	62,7	64,6	64,1	62,7	61,0	58,2	56,2	53,3	50,1	46,6	42,8	38,1	33,1	26,1	18,3		
	10	P4	72,0	21,2	27,8	31,6	48,8	46,1	52,6	45,6	47,1	53,5	51,6	54,1	55,1	56,5	57,7	60,6	61,7	64,2	64,1	64,6	62,1	59,1	56,9	54,5	51,1	48,0	42,8	37,9	32,6	24,8	15,7		
	42	P5	71,6	27,5	34,9	42,3	45,0	41,9	43,7	44,6	46,1	48,6	51,7	55,2	56,0	56,1	58,5	60,1	61,7	63,7	64,6	63,4	61,2	58,4	55,6	53,0	50,2	47,2	44,3	50,6	39,7	32,9	31,4		
<b>75-80</b>	43	P1	77,3	28,0	31,2	35,5	41,9	47,4	47,8	43,6	46,7	53,0	53,6	57,8	59,1	59,9	62,7	65,5	68,5	71,8	71,4	68,1	64,7	60,9	57,7	54,7	51,3	47,4	43,3	38,0	32,3	26,1	21,0		
	30	P2	76,9	19,3	25,7	38,3	43,2	48,8	49,6	48,0	51,7	54,4	56,2	58,8	60,5	60,3	62,7	65,1	67,5	70,2	70,4	68,8	66,2	62,2	58,3	54,7	51,7	48,2	43,7	38,7	33,6	26,6	19,5		
	2	P3	76,0	17,1	23,7	30,3	41,5	41,5	41,8	46,8	48,4	51,1	53,9	55,5	57,5	56,8	60,3	62,4	66,3	67,9	69,1	65,9	69,2	62,9	60,5	60,8	55,5	49,7	44,3	37,5	31,0	21,7	12,0		
	1	P4	75,5	17,7	27,3	27,6	39,4	41,1	40,6	45,3	49,5	49,9	51,1	55,3	58,0	60,8	60,7	63,3	65,1	67,9	69,5	67,2	65,0	62,3	60,9	58,8	55,5	50,5	43,5	39,7	34,7	23,7			
	1	P5	76,0	24,7	23,9	37,7	34,6	53,4	53,4	56,0	53,7	59,9	59,1	64,7	59,5	59,2	60,9	62,0	62,0	64,0	67,1	67,0	69,4	65,9	62,3	61,4	57,5	54,4	50,7	50,7	43,5	38,2	31,4		

Tabela 6.19 – Desvios padrão dos níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 1, em cada banda de 1/3 de oitava, para cada ponto de medição e por intervalo de LAeq.

		Desvio padrão por banda de 1/3 de oitava																															
Intervalo de LAeq	Medição	LAeq	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k	
60 - 65	P3	0,8	2,6	5,3	4,7	4,0	5,2	2,4	1,9	2,6	1,6	2,3	2,1	2,1	1,4	1,3	2,1	1,6	1,4	1,2	1,1	1,5	1,8	1,9	2,1	2,9	2,4	2,6	2,5	2,1	2,5	2,1	
	P4	1,4	2,1	6,5	7,7	5,2	4,8	4,9	4,4	3,8	2,6	2,9	2,3	2,2	2,3	1,6	1,9	2,2	2,0	1,5	1,3	2,0	1,8	2,0	2,1	2,3	3,1	3,7	3,6	4,0	3,1	2,5	
	P5	0,9	7,5	7,4	8,0	7,2	6,6	4,9	5,1	3,5	3,0	3,0	2,1	2,1	1,9	2,0	1,8	1,6	1,4	1,4	1,5	1,3	1,5	2,0	2,1	2,3	2,2	2,8	3,2	3,2	3,7	3,9	3,9
65 - 70	P2	1,0	7,7	7,0	5,6	4,4	5,4	5,5	2,1	2,7	2,4	2,1	1,4	1,4	1,4	1,1	0,8	0,6	1,7	2,4	1,4	1,1	1,6	2,0	2,3	3,0	3,4	3,7	4,0	4,4	5,1	6,3	7,2
	P3	1,3	5,0	4,8	5,4	5,8	5,4	4,7	3,7	4,0	2,5	2,5	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	2,1	1,9	1,9	2,0	2,3	2,2	2,8	2,9	3,4	3,8	3,9	4,0	5,6	6,6	5,9	
	P4	1,6	4,3	5,5	6,0	4,5	3,8	6,0	3,7	3,9	4,4	3,0	3,7	3,7	2,6	2,1	2,7	2,6	2,6	3,2	2,6	1,6	1,5	1,9	1,6	2,0	2,4	2,8	3,3	4,2	4,8	4,5	4,9
	P5	1,6	6,3	6,4	6,8	5,6	7,4	6,2	4,3	3,8	2,7	2,7	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,7	1,8	2,2	2,1	2,1	2,4	2,9	2,8	2,9	3,2	3,5	3,2	4,0	4,0	4,6
	P1	1,2	5,2	4,7	4,6	4,9	5,7	5,2	3,5	3,5	3,8	2,9	2,8	2,5	2,0	1,6	1,8	1,9	1,7	2,3	1,8	2,3	2,1	1,9	2,1	2,8	2,6	3,1	3,3	3,4	4,3	5,3	7,4
70 - 75	P2	1,4	4,2	3,7	4,7	5,9	6,9	5,5	3,8	5,1	3,3	3,2	2,5	2,5	2,5	2,4	2,1	1,6	2,0	2,1	1,8	1,8	1,9	2,0	2,7	3,0	3,1	3,5	3,9	4,2	4,4	4,4	4,5
	P3	1,3	4,9	4,5	7,2	5,5	7,4	6,8	3,2	2,9	2,3	2,6	2,0	1,9	1,6	2,1	2,3	1,8	2,3	2,0	1,3	1,9	1,7	2,4	2,4	2,4	2,9	3,7	4,0	4,0	3,9	4,1	4,1
	P4	1,0	3,5	4,1	3,4	7,4	4,7	7,4	3,7	3,3	4,3	3,1	2,2	2,2	1,6	1,9	1,5	2,4	1,9	1,7	1,7	1,9	1,1	1,5	2,0	2,3	2,7	3,1	3,0	3,2	4,1	4,0	3,8
	P5	1,1	5,2	6,2	6,6	5,9	4,7	4,1	3,0	3,3	2,7	2,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3,0	3,1	3,2	3,7	5,5	4,7	4,7	5,9
75 - 80	P1	1,4	5,5	5,2	5,4	6,2	6,8	6,0	2,9	2,8	3,8	2,1	1,6	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3	3,5	3,5	4,1	5,8	
	P2	1,4	3,1	3,4	5,4	5,8	5,9	5,8	3,7	3,5	3,1	3,0	2,2	2,0	1,9	1,7	1,3	1,8	1,8	1,9	1,9	2,1	2,1	2,0	2,2	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4	4,6	5,2	

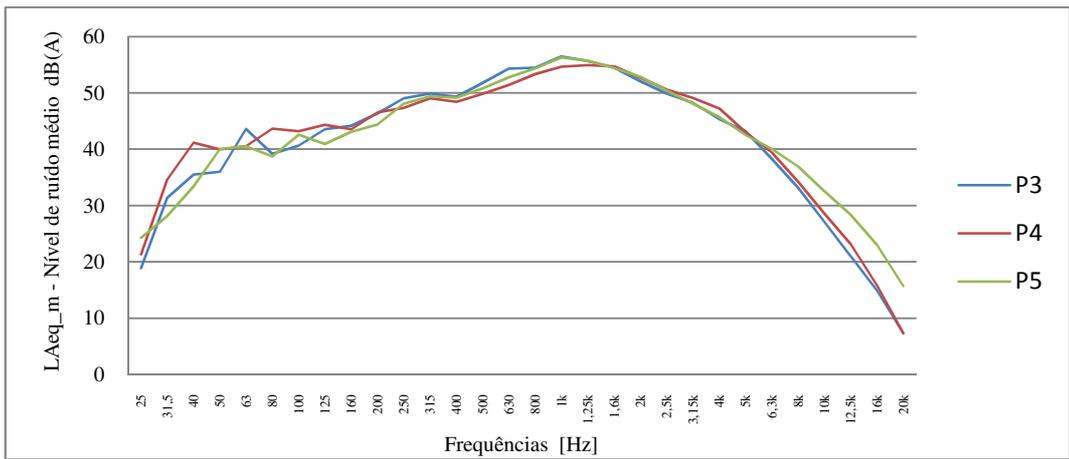


Figura 6.10 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 60 a 65 dB(A).

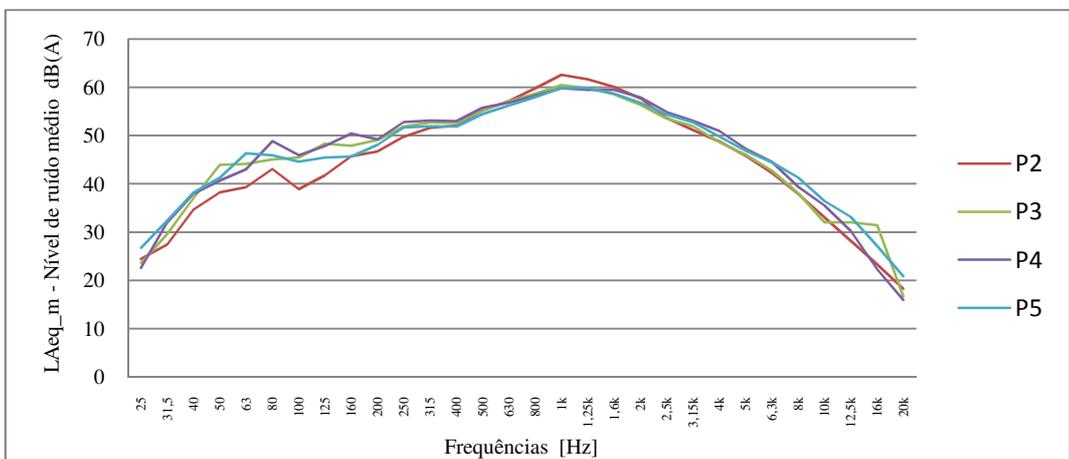


Figura 6.11 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 65 a 70 dB(A).

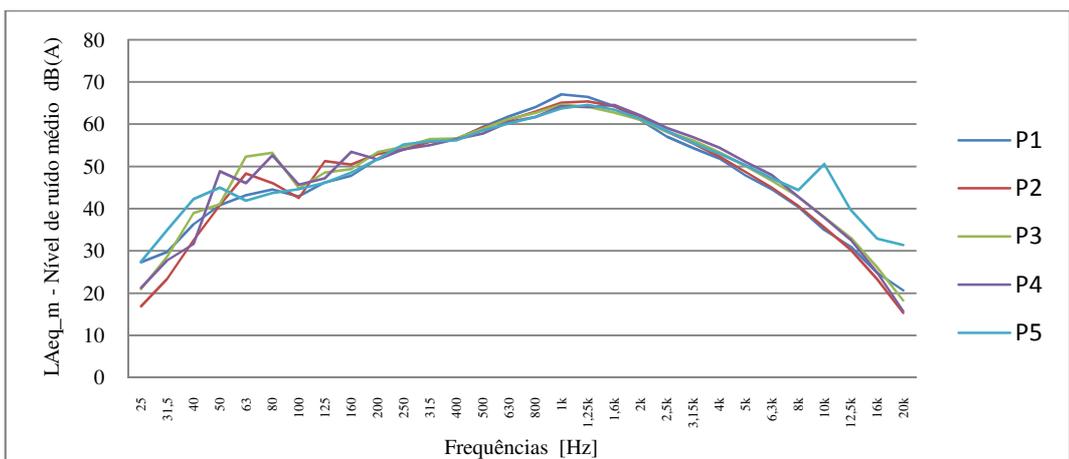


Figura 6.12 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 70 a 75 dB(A).

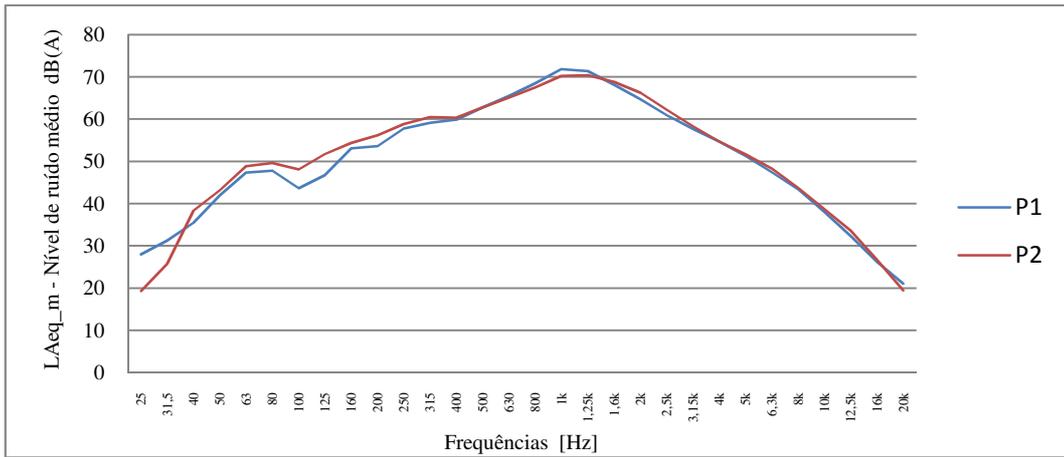


Figura 6.13 – Espectros de frequências médios dos níveis de ruído no intervalo de 75 a 80 dB(A).

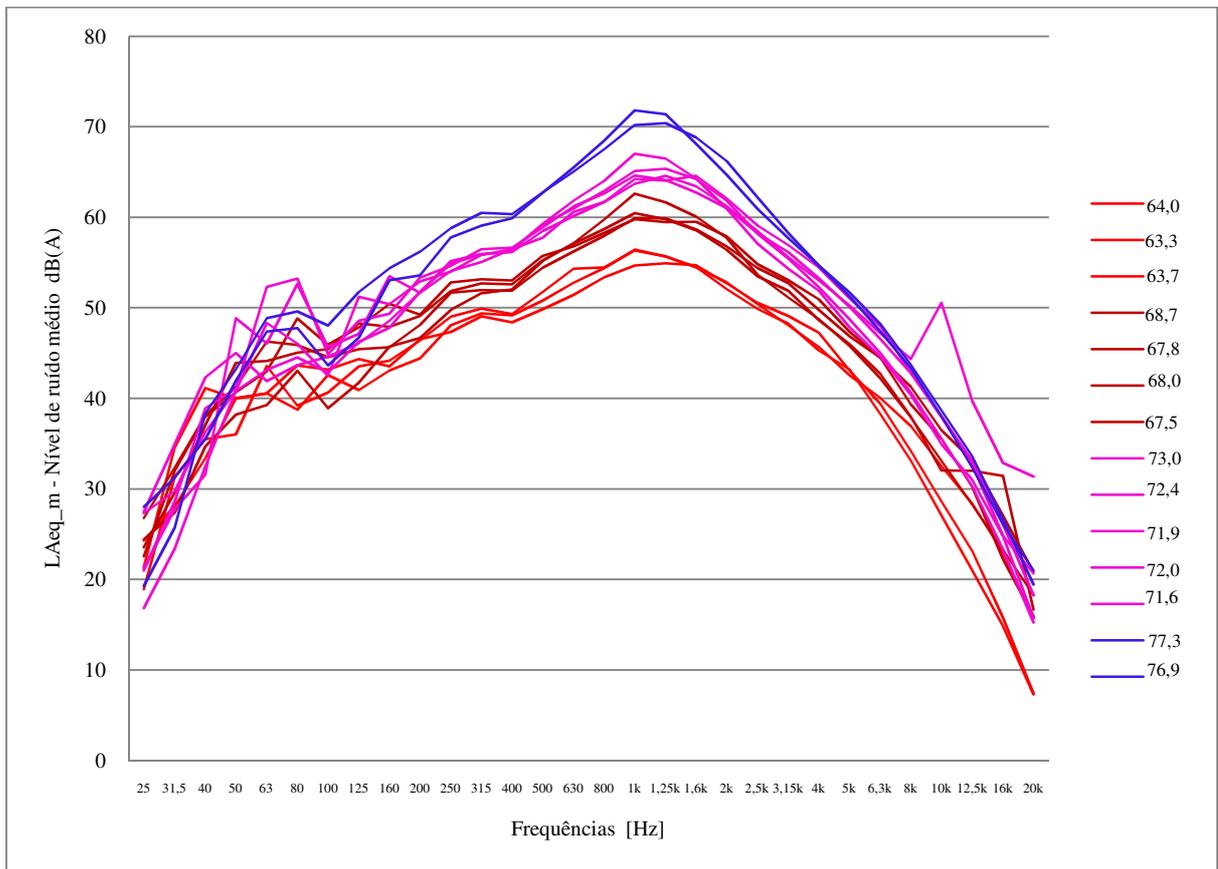


Figura 6.14 – Espectros de frequências médios obtidos da Tabela 6.18.

### 6.3.3.2 – Veículos da categoria 2 e 3

Para se avaliar os níveis de ruído produzidos por veículos da categoria 2 e 3, obtiveram-se muito menos amostras em comparação com as dos veículos da categoria 1 (ver tabelas de B6-2 a B10-2 e de B6-3 a B10-3).

Dos dados recolhidos elaboraram-se as Tabelas 6.20 e 6.21, onde se verifica que as diferenças entre os níveis sonoros máximos e mínimos são inferiores a 16,5 dB(A) e as diferenças entre os níveis sonoros médios para os diferentes pontos de medição são inferiores a 5 dB(A), isto para ambas as categorias de veículos.

O número de veículos identificados não permite uma avaliação precisa quanto à efectiva diminuição dos níveis de ruído emitidos na passagem de P1 para P5, no entanto, os valores obtidos para os veículos da categoria 3 apontam nesse sentido, não sendo contudo esperadas significativas diminuições, isto, porque os veículos pesados circulam no troço de estrada em estudo com velocidades inferiores a 60 km/h. Há, portanto, um predomínio do ruído do motor e a variação dos níveis de ruído vai depender da intensidade com que o motor é utilizado.

Analisando as condições de circulação no local e nos registos em vídeo, durante a passagem de veículos da categoria 3, identificam-se três condições de circulação distintas: em P1 e P2 os veículos circulam com velocidade uniforme; nos pontos P3 e P4 a velocidade é inferior a 30 km/h, mas muito variável e marcada por algumas paragens; no ponto P5 a circulação faz-se sempre a velocidades muito reduzidas e com pequenas acelerações. No entanto, essas diferenças nas condições de circulação não se revelam de forma clara no espectro de frequências, como se pode verificar na Figura 6.15, onde se desenharam os espectros de frequência dos veículos da categoria 3 que passaram no P1, P3 e P5.

Para avaliar de que forma a diminuição dos níveis de ruído emitidos pelos veículos pesados alteram o espectro de frequências, agruparam-se os níveis sonoros de todos os veículos identificados em intervalos de LAeq, calculando posteriormente a respectiva média logarítmica. Os resultados são apresentados na Tabela 6.23, com os quais se desenharam os espectros da Figura 6.16 e onde se verifica que a diminuição dos níveis sonoros médios é acompanhado em todas as bandas de 1/3 de oitava entre os 50 Hz e os 8 kHz.

Relativamente aos veículos da categoria 2, não se poderá dizer que o ruído do motor é predominante, visto haver um conjunto de veículos, designadamente os da classe 2b (ver Tabela 3.2), em que a emissão de ruído pelo motor é claramente inferior em comparação com outros veículos da mesma categoria.

Dos veículos da categoria 2 identificados, verifica-se pela Tabela 6.20, que não existe uma significativa diminuição dos níveis de ruído médios entre P1 e P5. Para avaliar a diminuição do ruído através do espectro de frequências, utilizaram-se todos os valores de LAeq emitidos por veículos da categoria 2 isolados, agrupando-os em intervalos e calculando posteriormente a média logarítmica. Os resultados são apresentados na Tabela 6.24 e os espectros obtidos estão desenhados na Figura 6.17, onde se observa que na média das amostras disponíveis, as diminuições mais significativas dos níveis sonoros ocorrem nas bandas de frequência acima dos 160 Hz, não considerando o espectro do nível sonoro médio 80,2 dB(A), por este ser uma média de apenas duas amostras .

Tabela 6.20 – Valores extremos de LAeq e comparação entre LAeq\_cat2 e LAeq\_medição.

Medição	N.º amostras	LAeq_min	LAeq_max	LAeq_max – LAeq_min	LAeq_cat2	LAeq_medição
P1	8	73,8	80,3	6,5	76,8	71,5
P2	12	68,9	78,7	9,8	75,9	70,1
P3	10	68,1	75,8	7,7	72,6	67,6
P4	8	63,0	80,0	17,0	74,4	68,3
P5	10	64,5	78,9	14,5	74,9	66,4

Tabela 6.21 – Valores extremos de LAeq e comparação entre LAeq\_cat3 e LAeq\_medição.

Medição	N.º amostras	LAeq_min	LAeq_max	LAeq_max-LAeq_min	LAeq_cat3	LAeq_medição
P1	5	76,7	87,2	10,5	82,1	71,5
P2	9	72,9	84,5	11,6	81,2	70,1
P3	7	72,1	83,3	11,2	79,9	67,6
P4	14	67,8	84,1	16,3	79,6	68,3
P5	7	73,0	79,1	6,1	77,4	66,4

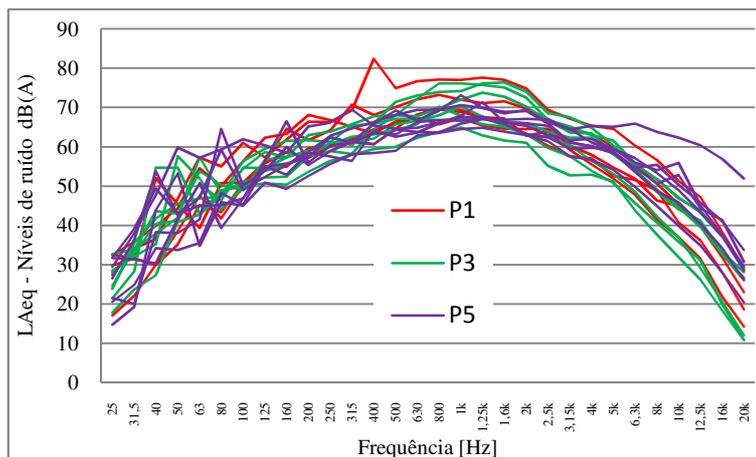
LAeq\_min – Nível sonoro, ponderado A, mínimo [dB(A)];

LAeq\_max – Nível sonoro, ponderado A, máximo [dB(A)];

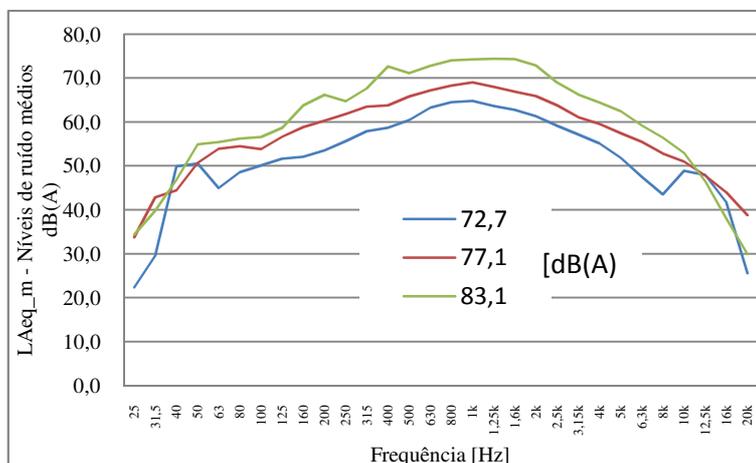
LAeq\_cat2 – Nível sonoro médio, ponderado A, de veículos da categoria 2 isolados [dB(A)];

LAeq\_cat3 – Nível sonoro médio, ponderado A, de veículos da categoria 3 isolados [dB(A)];

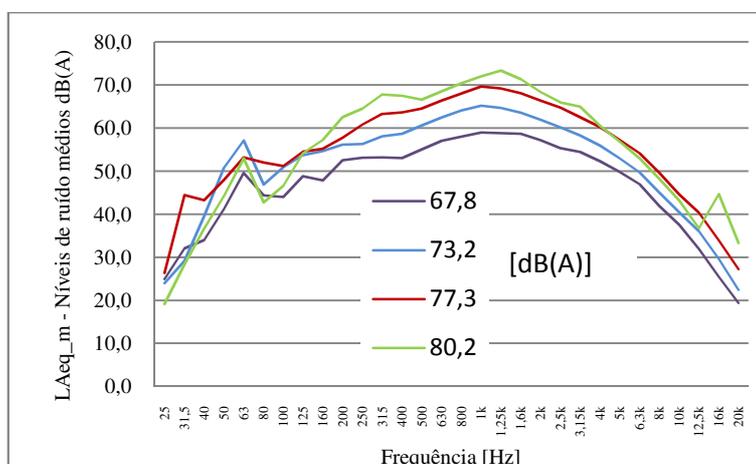
LAeq\_medição – Nível sonoro médio, ponderado A, do total da medição [dB(A)].



**Figura 6.15 – Espectros de frequência do ruído emitido por veículos da categoria 3 que passaram nos pontos de medição P1, P3 e P5.**



**Figura 6.16 – Espectros de frequência médios dos veículos da categoria 3, nos intervalos apresentados na Tabela 6.23.**



**Figura 6.17 – Espectros de frequência médios dos veículos da categoria 2, nos intervalos apresentados na Tabela 6.24.**

Tabela 6.22 – Médias de LAeq e espectros de frequências médio de veículos da categoria 2 e 3.

N.º Amostrs	Medição	LAeq_m por banda de frequência [dB(A)]																															
		LAeq_m [dB(A)]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k	
<b>Categoria 2</b>		8	76,8	26,9	32,3	34,9	38,4	51,0	50,0	43,0	51,5	52,4	55,3	58,5	61,4	62,4	64,8	66,3	68,7	69,6	69,8	67,2	64,2	62,1	59,4	56,4	53,5	49,7	44,3	38,2	32,7	38,7	27,5
		12	75,9	24,4	28,7	36,0	48,1	51,2	49,3	46,5	52,9	54,9	59,0	60,8	61,5	62,9	64,8	66,7	69,0	67,8	66,8	64,1	62,7	60,7	58,7	55,2	51,8	46,8	41,0	36,1	29,4	21,9	
		10	72,6	20,7	27,4	36,2	53,0	59,9	46,6	53,5	55,3	55,2	54,9	58,8	62,6	60,8	59,4	61,0	62,2	62,7	63,2	62,4	61,1	59,3	58,1	56,3	52,9	49,7	45,0	40,7	36,0	30,3	23,2
		8	74,4	27,4	34,3	42,5	49,0	50,6	48,0	47,5	53,4	55,5	57,3	59,4	61,2	62,1	60,9	62,6	63,9	65,4	65,4	66,1	64,1	62,4	61,3	58,0	54,9	51,4	46,5	41,2	35,4	29,3	22,7
		10	74,9	23,7	46,3	44,8	43,6	53,1	50,2	51,9	52,9	52,4	55,5	57,7	58,6	59,8	61,7	64,3	64,7	66,1	66,9	65,4	65,4	63,5	61,1	58,6	56,3	53,7	49,7	45,4	41,8	35,2	28,6
<b>Categoria 3</b>		5	82,1	30,1	32,8	45,4	43,7	52,6	50,6	56,1	58,2	61,8	64,4	64,4	67,2	75,7	70,2	72,1	72,8	72,4	72,3	71,8	69,7	66,0	63,2	61,5	59,5	55,5	51,5	46,4	41,9	33,4	25,0
		12	81,2	37,3	46,0	45,5	52,0	55,2	56,6	54,5	58,3	63,6	65,5	64,3	67,0	69,1	70,0	71,6	72,5	72,5	71,8	71,2	70,5	67,9	64,9	62,9	60,8	56,3	51,1	47,1	41,2	34,3	27,4
		7	79,9	27,5	32,7	47,0	51,4	52,2	47,9	53,0	56,2	57,2	59,6	61,2	62,6	64,8	67,5	69,2	71,5	71,9	72,3	71,9	69,5	65,0	63,2	61,5	57,8	52,9	48,4	43,7	39,9	33,2	25,8
		14	79,6	31,9	37,4	46,6	54,9	55,3	52,4	55,4	56,6	59,5	62,7	61,6	64,0	65,1	67,1	68,9	70,2	71,0	71,1	71,6	70,1	65,7	63,1	61,4	59,5	57,7	56,0	53,4	48,2	40,6	29,1
		7	77,4	28,2	34,7	47,7	52,4	50,3	58,2	54,3	55,9	60,1	59,5	61,8	63,8	64,2	65,5	65,9	67,0	68,7	66,9	66,8	64,9	62,0	61,4	60,3	59,1	56,9	55,5	52,4	48,8	43,6	

Tabela 6.23 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 3, por intervalo.

Intervalo [dB(A)]	N.º amostras	LAeq_m [dB(A)]	LAeq_m por banda de frequência [dB(A)]																													
			25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
70 - 75	6	72,7	22,3	29,6	49,9	50,5	45,0	48,6	50,1	51,6	52,1	53,5	55,6	57,8	58,7	60,5	63,3	64,5	64,8	63,6	62,8	61,3	59,1	57,2	55,1	51,8	47,5	43,5	48,8	47,9	41,8	25,5
75 - 80	22	77,1	33,8	42,9	44,5	50,7	53,9	54,4	53,8	56,6	58,8	60,3	61,8	63,4	63,8	65,8	67,2	68,2	69,0	68,0	66,9	65,8	63,7	61,0	59,6	57,5	55,5	52,8	51,0	47,8	44,0	38,7
80 <	17	83,1	34,3	39,8	46,8	54,9	55,4	56,2	56,6	58,7	63,8	66,1	64,7	67,6	72,6	71,1	72,8	74,0	74,2	74,4	74,3	72,8	69,0	66,2	64,4	62,5	59,2	56,4	52,9	46,5	38,1	29,9

Tabela 6.24 – Média de LAeq e espectro de frequências médio de veículos da categoria 2, por intervalo.

Intervalo [dB(A)]	N.º amostras	LAeq_m [dB(A)]	LAeq_m por banda de frequência [dB(A)]																													
			25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k
65 - 70	9	67,8	25,0	32,1	34,0	41,3	49,5	44,4	44,0	48,8	47,9	52,5	53,1	53,2	53,0	55,0	57,0	58,0	58,9	58,8	58,7	57,2	55,4	54,5	52,3	49,8	46,9	41,9	37,5	31,9	25,5	19,4
70 - 75	21	73,2	24,0	29,2	39,5	50,8	57,1	46,9	50,9	53,7	54,7	56,1	56,3	58,1	58,6	60,6	62,5	64,1	65,2	64,7	63,6	61,9	60,2	58,3	55,9	52,9	49,7	45,0	40,4	36,1	29,6	22,4
75 - 80	16	77,3	26,3	44,4	43,3	48,0	53,2	52,0	51,2	54,5	55,1	57,7	60,8	63,3	63,6	64,5	66,3	68,0	69,6	69,2	68,1	66,4	64,7	62,5	60,2	57,2	54,2	49,6	44,6	40,4	33,9	27,2
80 <	2	80,2	19,1	28,4	36,6	44,3	53,0	42,7	46,5	54,1	57,2	62,5	64,5	67,8	67,5	66,6	68,5	70,4	72,0	73,4	71,4	68,4	65,9	65,0	60,5	56,9	52,9	48,2	43,1	36,7	44,6	33,3

### 6.3.3.3 – Veículos da categoria 5

Nas medições efectuadas foi possível obter algumas amostras dos níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 5, nomeadamente motas e scooters. Nestes veículos a fonte de ruído provém claramente do conjunto motor e sistema de escape, assim sendo e tendo em consideração que no troço de estrada estudado os motociclos podem passar nos cinco pontos sem grandes variações de velocidade, os factores que mais contribuem para a emissão do ruído são as características do motociclo e o modo como é conduzido (acelerações lentas/bruscas, rotações do motor, velocidade, entre outras).

Na Tabela 6.25 apresentam-se os níveis de ruído e respectivos espectros de frequência de veículos da categoria 5 que passaram isolados nos pontos de medição. Os dados foram ordenados por intervalos de LAeq.

Os níveis de ruído obtidos variam entre os 65 dB(A) e os 89,7 dB(A), não havendo concentração de valores mais baixos ou mais altos num determinado ponto. Encontra-se um exemplo disso mesmo na medição P5, onde no segundo 3386 foi registado o valor mais baixo e no mesmo ponto, no segundo 2697, foi registado um dos valores mais elevados.

Desenhando os espectros de frequências, em cada intervalo de LAeq considerado (Figuras 6.18 a 6.21), verifica-se que são muito distintos, não existindo bandas de frequências em que haja uma aproximação dos valores. Isto deve-se ao predomínio do ruído do motor e sistema de escape, que é bastante variável, face ao ruído de contacto piso/pneu mais uniforme.

Tabela 6.25 – Médias de LAeq e espectros de frequências de veículos da categoria 5, por intervalo.

Intervalo de LAeq [dB(A)]	Meditação	Tempo	LAeq por banda de frequência [dB(A)]																															
			25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k		
65 - 70	P5	3386	65,0	18,8	18,0	24,8	35,9	44,1	38,2	39,1	45,5	41,6	44,6	49,9	56,1	54,9	50,1	51,4	52,3	55,3	56,7	55,0	53,9	52,6	51,1	48,6	46,8	47,0	45,1	43,5	37,1	31,7	28,9	
	P2	338	65,9	12,1	15,4	21,4	31,5	30,5	38,3	41,6	46,1	52,1	50,8	50,2	51,8	53,4	56,2	54,2	54,5	57,3	57,3	55,7	55,6	53,2	49,8	47,3	43,8	40,9	35,5	27,7	21,2	14,3	6,3	
	P3	465	65,9	14,1	30,1	29,4	29,1	43,0	37,5	40,0	46,2	49,6	50,6	50,2	55,0	54,2	54,9	57,2	54,7	52,8	54,7	54,4	53	53,8	54,2	53,5	50,3	47,8	43,6	39,2	35,6	30,5	25,4	
	P3	1755	67,8	6,1	16,2	21,2	39,4	38,7	31,5	45,1	45,8	55,8	60,6	55,5	56,9	54,5	56,8	58,9	57,1	57,1	54,0	56,0	54,6	54,2	49,5	44,1	42,7	39,9	35,6	28,4	21,2	16,3	7,8	
	P2	1649	69,0	5,0	12,9	19,1	37,6	42,7	26,9	41,3	52,2	45,9	45,9	53,7	52,6	53,2	58,7	58,0	54,6	57,9	58,3	59,2	61,4	59,3	58,8	55,0	50,4	48,5	43,3	37,1	31,3	22,4	13,1	
	70 - 75	P5	2010	70,1	29,2	32,2	34,1	36,4	35,8	33,4	37,7	38,4	39,0	43,7	47,2	48,0	54,8	54,6	55,2	61,4	58,5	59,6	58,9	60,9	60,4	60,8	59,9	58,6	54,7	52,5	46,6	40,5	31,2	23,0
P5		2993	71,9	13,2	21,5	23,4	28,9	38,0	33,1	44,3	53,0	53,3	55,6	52,9	50,9	55,6	60,6	56,8	59,5	62,4	64,5	64,0	62,0	61,3	59,4	56,8	55,7	51,4	49,8	47,1	41,8	35,8	27,6	
P1		1071	72,0	28,7	33,7	35,8	36,2	52,7	39,7	44,6	51,3	49,5	53,2	54	53,8	56,2	58,6	60,3	62,3	64,0	65,2	63,3	61,5	60,6	56,7	52,8	49,9	47,1	43,0	37,3	30,6	23,8	15,2	
P3		610	72,2	16,0	23,3	27,6	31,9	38,5	46,8	45,3	47,3	50,0	51,7	55,1	55,8	59,6	61,3	63,0	62,1	65,1	65,8	62,2	59	55,6	52,3	49,6	46,3	42,3	38,5	35,3	38,2	29,9	23,4	
P2		120	72,3	6,7	9,4	14,3	17,2	21,7	43,6	34	35,8	47,9	42,9	45,9	57,9	55,0	59,6	63,9	63,6	64,2	64,7	59,5	61,5	58,7	55,9	56,8	53,6	52,2	57,0	55,3	42,7	38,5	28,1	
P3		1440	72,9	16,9	24	28,5	33,6	43,7	46,1	41,3	42,3	45,3	45,3	49,0	54,8	58,8	62,9	69,6	64,0	60,2	59,0	64,8	56,5	50,5	45,6	44,7	42,1	39,4	35,7	31,6	23,0	15,6		
P4		709	73,3	15,4	19,6	18,9	24,4	25,7	29,4	40,4	35,4	42,0	48,8	55,6	54,5	59,3	61,8	61,1	59,6	60,3	64,9	67,8	64,4	62,6	60,5	58,2	53,8	50,2	46,7	40,9	33,2	26,0	27,1	
P4		983	73,7	23,6	21,6	22,5	25,3	37,0	32,8	32,8	33,2	39,4	51,5	52,2	54,1	53,0	57,3	63	61,1	64,5	70,3	63,0	65,4	64,0	64,1	62,5	65,2	61,1	53,2	48,4	42,8	33,9	25,5	
P5		2414	74,0	25,3	31,0	30,1	31,4	33,0	35,1	49,6	33,2	40,2	50,8	52,5	54,5	55,7	57,0	61,0	61,4	62,3	63,0	65,4	64,0	64,0	64,1	56,9	59,0	55,9	51,8	60,9	50,4	44,0	35,5	26,3
P5		1901	74,1	20,6	25,7	38,1	41,2	46,2	38,6	36,6	52,2	44,3	58,6	59,5	58,7	61,0	61,8	61,1	64,0	67,3	66,5	63,3	62,5	61,3	59,7	57,8	55,7	53,8	49,1	44,4	38,7	32,2	27,9	
P4		743	74,5	15,2	18,4	23,3	34,4	39,3	50,2	38,9	37,5	51,4	45,0	54,0	56,0	59,7	61,5	61,4	65,7	66,2	65,7	65,7	65,3	62,5	62,5	60,3	59,8	56,5	51,6	47,3	42,9	35,4	29,4	
75 - 80		P2	1779	76,3	19,8	18,0	23,9	38,0	37,0	29,6	40,9	39,9	50,1	48,5	53,6	60,4	66,4	72,5	70,8	63,5	61,3	65,5	60,0	54,2	49,8	49,8	50,8	49,8	46,1	42,9	38,6	36,3	28,9	22,0
		P1	1251	76,8	20,3	26,5	29,2	30,8	34,4	39,6	60,6	48,3	42,3	64,0	53,1	57,5	62,9	59,5	65,2	66,5	66,6	69,2	69,5	66,5	64,5	64,5	61,7	58,6	54,9	50,0	50,2	44,9	40,7	30,0
		P5	557	76,9	17,3	19,4	24,7	24,5	43,7	38,7	27,2	49,9	50,4	60,3	61,0	64,0	66,0	71,0	70,0	60,6	63,6	62,7	59,9	60,2	59,8	57,6	52,7	52,4	48,7	44,8	40,0	33,1	26,4	
	P2	1452	78,5	7,0	14,9	21,5	31,9	31,5	34,5	57,0	46,6	46,3	61,4	53,6	62,5	61,9	61,7	65,6	66,3	69,5	70,1	70,8	69,9	68,4	65,8	64,3	62,5	60,2	58,6	54,9	50,9	43,5	38,8	
	P3	1251	78,5	13,7	24,3	46,8	29,5	44,3	57,8	56,8	63,0	62,5	59,4	60,8	61,7	64,2	66,5	68,6	69,1	68,9	67,8	69,3	69,4	67,6	65,1	61,4	57,2	55,0	49,0	43,7	38,3	31,6	23,6	
80 <	P2	291	80,1	17,9	26,8	35,5	40,6	44,8	47,9	50,6	56,6	68,6	57,1	60,8	67,9	63,9	67,1	69,9	66,9	70,5	69,2	70,8	70,5	68,5	67,6	67,9	64,8	61,5	57,6	54,7	50,0	43,0	36,1	
	P5	2697	81,5	27,0	29,4	32,4	48,7	41,5	43,1	48,5	43,4	65,1	69,6	68,8	69,2	70,8	66,6	75,2	73,0	70,9	71,0	65,2	65,2	68,8	64,3	61,0	58,8	55,3	51,3	48,3	40,1	33,5		
	P2	726	89,7	10,5	28,2	35,9	29,6	27,7	52,5	63,3	42,2	57,1	72,0	75,3	72,4	73,2	76,6	77,3	77,5	76,7	75,9	72,5	77,1	79,0	83,1	83,1	73,9	74,2	69,2	67,9	63,2	58,1	49,0	

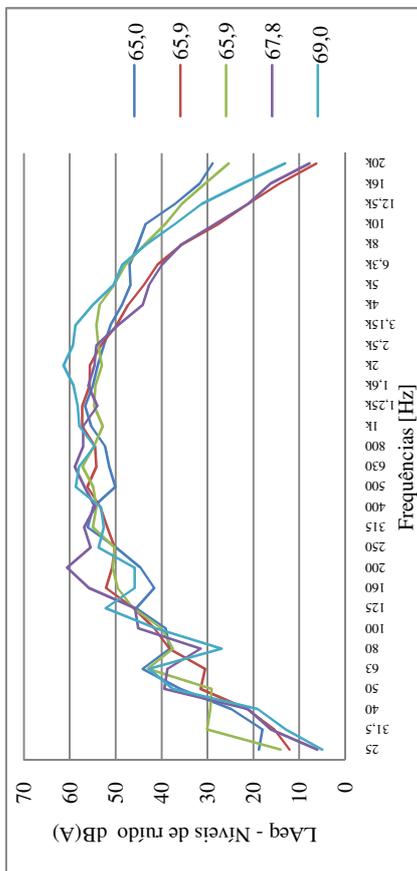


Figura 6.18 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A).

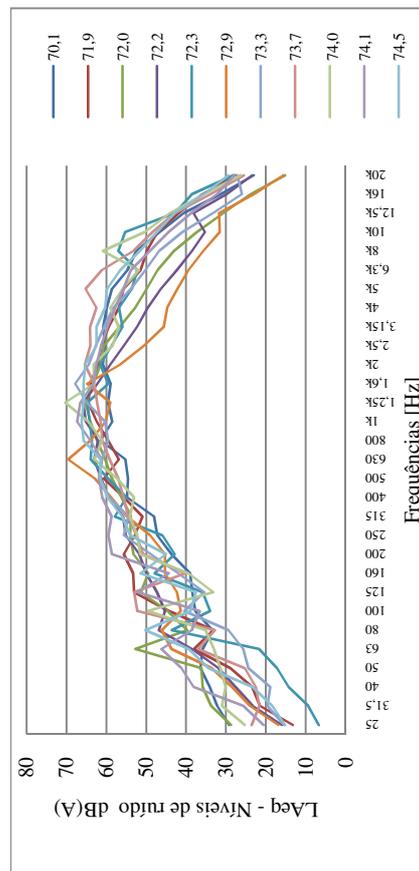


Figura 6.19 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 70 dB(A) e os 75 dB(A).

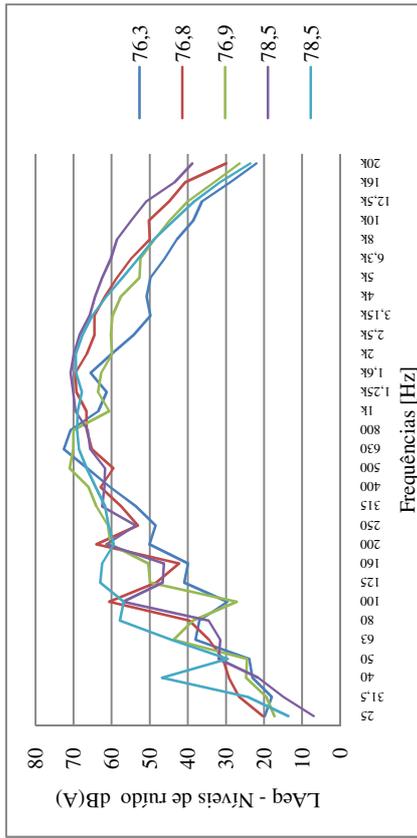


Figura 6.20 – Espectros de frequências no intervalo de LAeq entre os 75 dB(A) e os 80 dB(A).

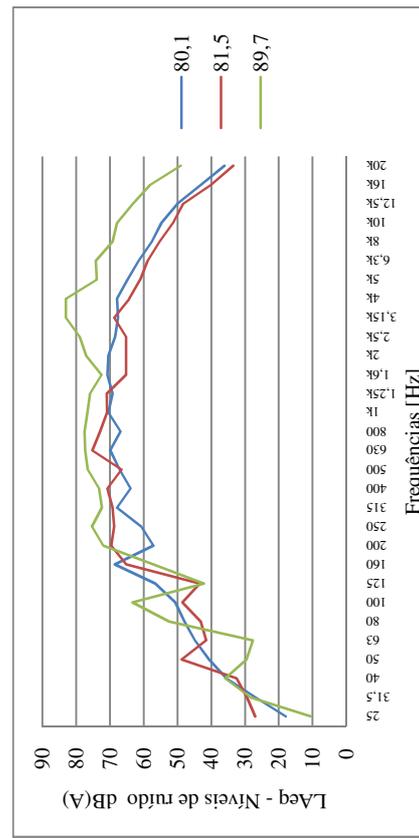


Figura 6.21 – Espectros de frequências de LAeq superiores a 80 dB(A).

### 6.3.3.4 – Níveis de ruído mínimos entre passagens de veículos

Os níveis de ruído mínimos entre passagens de veículos, adiante designado apenas por ruído mínimo, corresponde aos níveis sonoros presentes no local de medição quando os veículos se encontram suficientemente afastados para que os valores sejam inferiores a 55 dB(A). Estes níveis de ruído são apresentados nas tabelas B6-9 a B10-9,

As amostras recolhidas foram ordenadas e separadas em dois intervalos de LAeq, como se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 6.26 – Número de amostras de LAeq inferiores a 55 dB(A), por ponto de medição.

Intervalo de LAeq [dB(A)]	Medições				
	P1	P2	P3	P4	P5
< 50	131	75	0	0	132
50 - 55	336	151	108	57	546

Em cada intervalo e para cada medição, fez-se o cálculo da média logarítmica dos níveis sonoros por banda de 1/3 de oitava, obtendo-se assim os espectros médios do ruído mínimo nos locais de medição. Os resultados são apresentados na Tabela 6.27.

Na Figura 6.22 desenharam-se os espectros médios de LAeq inferiores a 50 dB(A), onde se verifica que o ruído mínimo apresenta espectros diferentes nas três medições, há no entanto, um desenvolvimento idêntico e uma aproximação dos espectros de P1 e P5 nas bandas de frequência dos 25 Hz aos 100 Hz e dos 400 Hz aos 1,6 kHz.

Nos espectros obtidos para o intervalo dos 50 dB(A) aos 55 dB(A), apresentados na Figura 6.23, também se verificam diferenças significativas entre eles.

Em ambos os intervalos analisados, verifica-se que os desvios entre espectros de frequências médios, são mínimos nas bandas dos 800 Hz aos 1,6 kHz, para o intervalo de LAeq inferior a 50 dB(A), e nas bandas dos 800 Hz aos 2,5 kHz, para o intervalo de LAeq entre os 50 dB(A) e os 55 dB(A), em ambos os casos o desvio padrão é inferior a 0,82 nessas bandas de frequência.

Comparando os espectros de frequências do ruído mínimo em cada ponto (ver Figuras 6.24 a 6.28), verifica-se que nas medições P1 e P5 a diminuição dos níveis de ruído é acompanhado em todas as bandas de frequência. No caso da medição P2 a diminuição só se verifica nas bandas de frequência entre os 63 Hz e os 5 kHz.

Tabela 6.27 – Médias de LAeq e espectro de frequências médio de mínimo, por intervalo.

Intervalo [dB(A)]	Amostras	LAeq_m por banda de frequência [dB(A)]																																
		25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	20k			
< 50	130	P1	48,5	23,3	26,6	28,3	30,0	30,2	30,2	29,9	30,2	30,6	31,0	31,7	32,5	33,4	35,0	35,9	37,4	38,9	39,4	39,4	38,5	36,4	35,2	34,3	32,4	30,0	26,7	23,1	20,0	17,1	14,8	
	75	P2	47,9	13,9	17,4	19,0	23,0	26,8	23,7	23,9	26,9	28,0	29,6	31,8	34,8	36,1	36,7	38,7	38,2	39,0	39,0	37,6	35,1	33,3	33,5	33,09	29,9	23,8	18,1	13,7	11,0	8,9	6,7	
	0	P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
50 - 55	132	P5	48,0	22,7	25,6	28,2	29,4	29,9	29,7	30,3	30,9	32,0	32,8	33,9	34,0	32,7	33,8	35,0	37,8	39,7	39,3	39,2	37,1	33,9	31,6	29,5	27,5	25,2	22,2	18,7	14,4	9,3	4,3	
	336	P1	52,7	28,6	31,6	34,0	35,6	36,1	35,4	35,0	35,0	35,1	35,9	36,6	37,3	38,0	39,1	40,1	41,7	43,7	44,2	43,6	41,8	39,4	38,1	37,1	35,4	33,3	30,5	27,7	25,3	23,0	21,1	
	151	P2	53,1	15,4	16,7	20,2	25,6	28,6	27,9	28,4	32,6	34,2	37,2	36,7	40,2	41,9	43,4	43,4	44,7	44,8	44,8	43,4	41,2	38,5	36,8	35,1	31,3	26,2	20,7	15,6	11,6	8,5	6,0	
50 - 55	108	P3	53,4	15,4	22,0	26,7	31,2	32,6	32,7	34,7	35,9	36,3	36,8	38,5	41,0	40,4	41,3	42,6	43,7	44,9	45,0	44,2	41,3	39,3	36,2	33,6	31,0	28,1	23,4	16,9	18,0	7,8	3,0	
	57	P4	54,0	23,8	24,8	28,0	28,3	29,1	31,0	31,2	32,9	34,2	35,6	37,8	40,1	42,5	44,0	43,6	44,9	45,2	44,7	42,2	40,4	42,8	40,4	42,8	40,4	36,5	29,7	22,2	16,7	10,6	5,1	1,3
	546	P5	53,1	24,6	28,3	31,3	33,9	35,2	34,0	34,5	35,7	36,1	37,4	39,0	39,0	37,8	39,2	40,6	42,7	44,7	45,0	44,4	42,4	39,2	36,2	34,1	31,8	28,9	25,6	22,7	19,3	15,2	12,0	

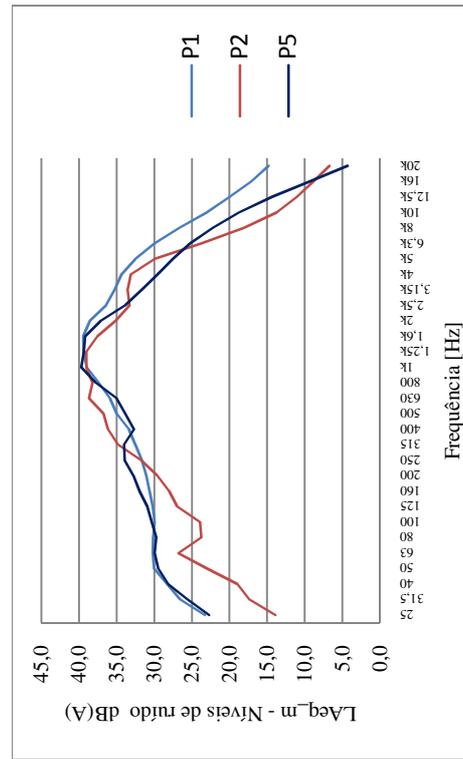


Figura 6.22 – Espectros de frequências médio do ruído mínimo, para LAeq inferiores a 50 dB(A).

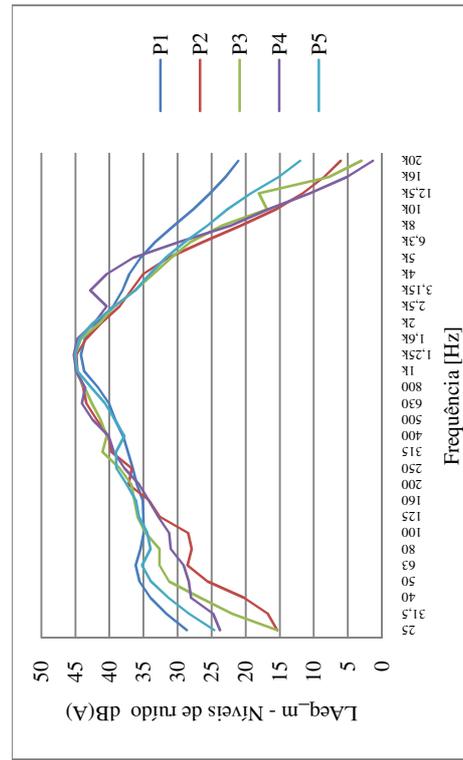


Figura 6.23 – Espectro de frequências médios do ruído mínimo, para LAeq inferiores a 55 dB(A).

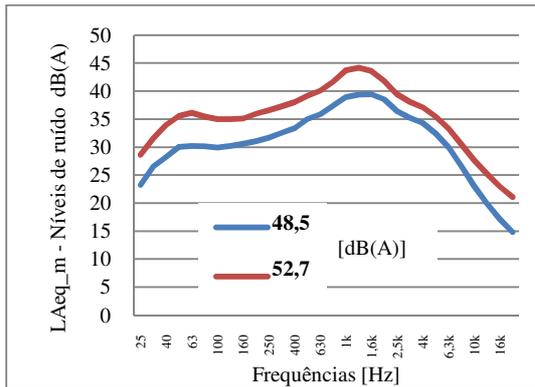


Figura 6.24 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P1.

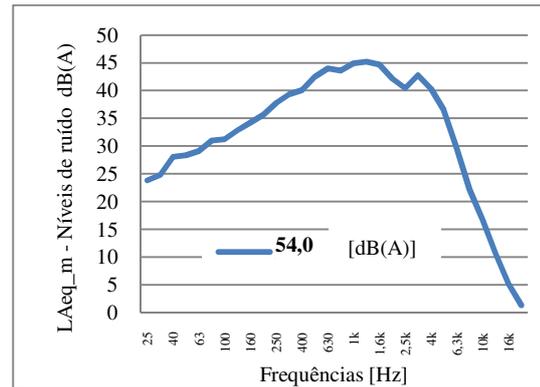


Figura 6.27 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P4.

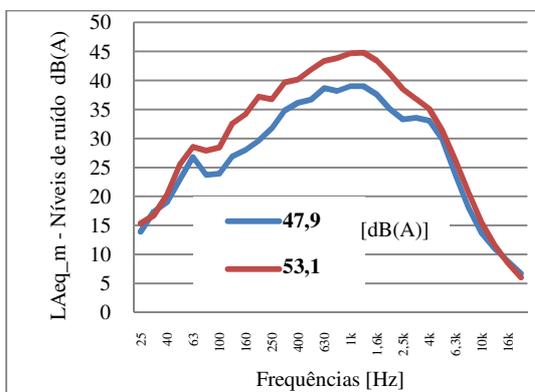


Figura 6.25 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P2.

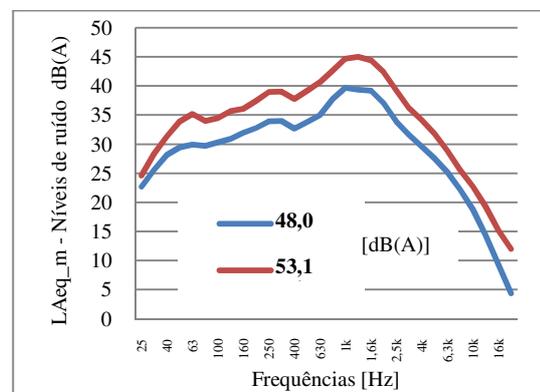


Figura 6.28 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P5.

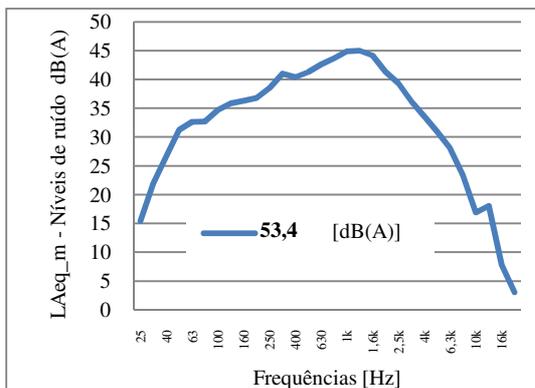


Figura 6.26 – Espectro de frequências médio do ruído mínimo em P3.

## **6.4 – Comparação dos espectros de frequências dos veículos isolados com os espectros de frequências obtidos nas medições de longa duração**

Nas medições de longa duração analisadas no Capítulo 5, obtiveram-se quatro espectros de frequências médios para o intervalo de LAeq,5 entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A), que representam os espectros mais frequentes obtidos nas medições realizadas em três locais (PI, PII e PIII), em que PI apresenta condições de circulação distintas de PII e PIII.

Os níveis sonoros mais frequentes, obtidos na medição de longa duração em PI, estão no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A), no entanto, os níveis sonoros registados na passagem de veículos da categoria 1 nessa mesma zona (P2) situam-se no intervalo entre os 70 dB(A) e os 75 dB(A), essa diferença está bem patente nos espectros apresentados na Figura 6.29 e devem-se em parte às atenuações do ruído medido em PI, por este ponto se posicionar a cerca de 10 m da estrada.

Na zona que abrange PII, PIII e P3 os níveis sonoros mais frequentes na medição de longa duração encontram-se no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A), o mesmo se verifica para os níveis sonoros médios de todos os veículos que passaram isolados nessa zona. Pela Figura 6.30, verifica-se que existe uma boa aproximação entre os espectros de frequências.

Comparando apenas os espectros de frequências de níveis sonoros emitidos por veículos da categoria 1 entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A), verifica-se pela Figura 6.31, que no ponto PI os desvios são mínimos para quase todas as bandas de frequência. O mesmo se poderá dizer das bandas de frequência entre 25 Hz e os 1,6 kHz dos espectros apresentadas na Figura 6.32. Nas bandas acima dos 1,6 kHz, os desvios variam entre aproximadamente os 2 dB(A) e os 6 dB(A).

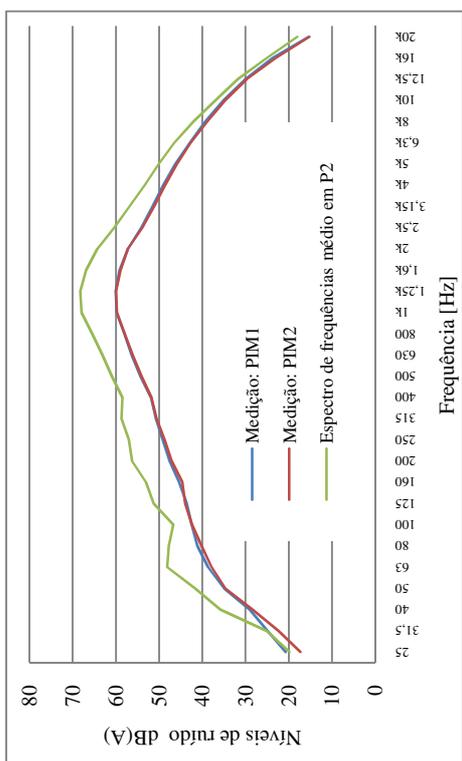


Figura 6.29 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em P1 e o espectro médio do ruído emitido por veículos da categoria 1 na medição P2.

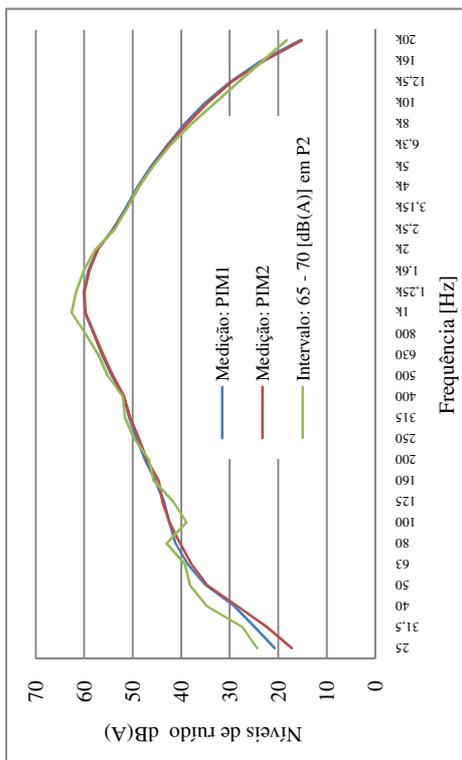


Figura 6.31 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em P1 e o espectro médio da medição P2, no intervalo dos 65 aos 70 dB(A).

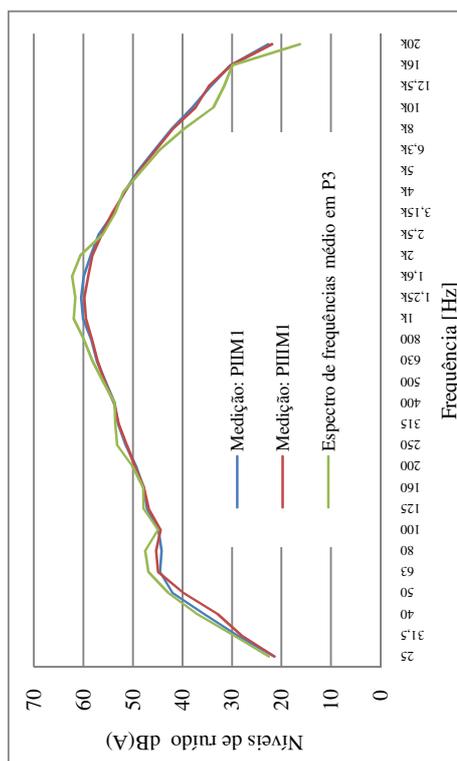


Figura 6.30 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em P1 e o espectro médio do ruído emitido por veículos da categoria 1 na medição P3.

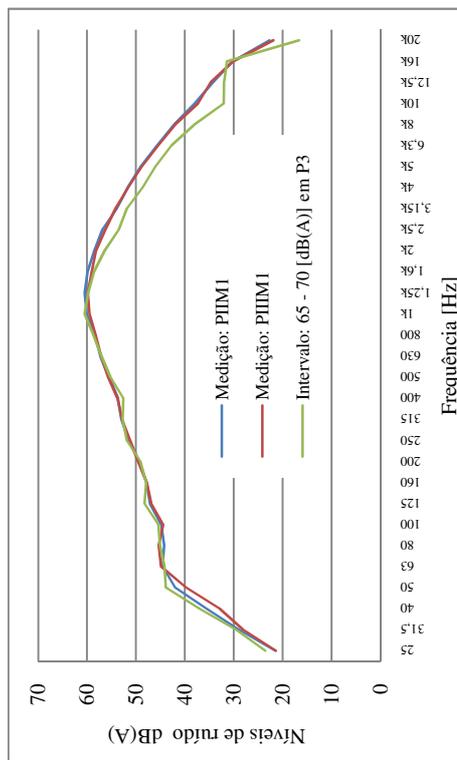


Figura 6.32 – Comparação entre os espectros do ruído nas medições de longa duração em P1 e o espectro médio da medição P3, no intervalo dos 65 aos 70 dB(A).

## 6.5 – Conclusões

A análise dos espectros de frequências médios, relativos aos níveis de ruído emitidos pela passagem de veículos em cada ponto de medição, permite concluir, que as alterações nas condições de circulação observadas entre a zona de medição {P1; P2} e a zona {P3; P4; P5} introduziram diferenças nos espectros de frequências.

A diminuição dos níveis sonoros médios de {P1; P2} para {P3; P4; P5} é de pelo menos 1,8 dB(A). Comparando apenas o ruído emitido por veículos da categoria 1 isolados, a diferença nas duas zonas referidas é no mínimo de 5,1 dB(A) e verificam-se nas bandas de 1/3 de oitava entre os 250Hz e os 3,15kHz. É, inclusive, nestas bandas de frequências que se observam as diferenças mais significativas quando se comparam os espectros médios obtidos em intervalos de 5 dB(A).

No ponto de medição P1 verificou-se que 51% dos veículos da categoria 1 emitiram níveis de ruído no intervalo entre os 75 e os 80 dB(A). Em P2, a maior percentagem (49%) corresponde ao intervalo entre os 70 e os 75 dB(A). Nos pontos P3, P4 e P5, 48% a 63% dos veículos, emitiram ruído no intervalo entre os 65 dB(A) e os 70 dB(A).

Para os veículos da categoria 1, as diferenças observadas entre os níveis de ruído máximos e mínimos variam dos 16 dB(A) aos 22 dB(A), tendo-se verificado que os valores elevados de ruído devem-se tanto à passagem de veículos isolados, como à passagem de veículos próximos, nalguns casos atingindo valores acima dos 75 dB(A). Portanto, na circulação de veículos da categoria 1 surgem situações, observáveis com mais frequência nos locais P1 e P2, em que os níveis de ruído gerados são comparáveis aos emitidos por veículos da categoria 3

Relativamente aos veículos da categoria 3, mais de 80% emitiram níveis de ruído acima dos 75 dB(A). Nestes veículos e nos da categoria 2, as diferenças entre os níveis de ruído máximos e mínimos é inferior a 16,5 dB(A). A diminuição dos níveis de ruído médios observados nos veículos da categoria 3 em intervalos de 5 dB(A), ocorrem nas bandas de frequência entre os 63 Hz e os 8kHz.

Os níveis de ruído emitidos por veículos da categoria 5 foram superiores a 75 dB(A) em 33% dos veículos analisados.

Do presente estudo conclui-se ainda, que o espectro de frequências do ruído instalado entre passagens de veículos, correspondentes aos níveis de ruído inferiores a 55

dB(A), variam conforme os locais de medição, porém, verificam-se pequenos desvios nas bandas de 1/3 de oitava entre os 800 Hz e os 1,6 kHz.

Por fim, conclui-se que os espectros de frequências médios dos níveis de ruído LAeq,5, obtidos nas medições de longa duração realizadas em PII, são idênticos ao espectro médio dos níveis de ruído emitido por veículos da categoria 1 que passaram no mesmo local de medição. O mesmo se conclui, quando se comparam os espectros de frequência médios obtidos nas zonas de medição PI com os obtidos em P2, e os obtidos em PII e PIII com os obtidos em P3, considerando o intervalo entre os 65 e os 70 dB(A).

## CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 – Conclusões

A circulação rodoviária na estrada EN109 é a principal fonte de ruído no centro da vila de Vagos, levando a que os limites de exposição menos restritivos, definidos no artigo 11º do Regulamento Geral do Ruído, sejam ultrapassados em 4 dB(A) no mínimo.

O tráfego nesta via de comunicação é composto essencialmente por veículos da categoria 1 que constituem 87% dos veículos identificados no presente estudo; os veículos da categoria 3 representam apenas 3,4%. O ruído exterior está portanto muito associado ao ruído emitido pelos veículos da categoria 1. Esta situação verifica-se quando se compara o espectro de frequências do ruído exterior com o espectro de frequências do ruído emitido por essa categoria de veículos.

Relativamente ao efeito das alterações das condições de circulação no ruído emitido por veículos da categoria 1, conclui-se que quando se comparam os veículos a entrar e sair de rotundas, com a circulação em entroncamento sinalizado por semáforos ou circulação a velocidades inferiores a 50 km/s, as diferenças entre os níveis de ruído médios são inferiores a 1 dB(A), para o troço de estrada estudado. As maiores diferenças, com um mínimo de 5 dB(A), ocorrem quando se comparam veículos a circular nas condições referidas com a de veículos a circular em estrada livre, em que as velocidades vão até cerca dos 70 km/h. Estas diferenças, nos espectros de frequências, são notórias em bandas de 1/3 de oitava entre os 250 Hz e os 3,15 kHz.

Dos veículos isolados da categoria 1, cerca de 7% emitiram níveis de ruído acima dos 75 dB(A), causando tanto impacto no ruído ambiente como os veículos da categoria 3. Estes níveis de ruído elevados ocorrem, na sua quase totalidade, em estrada livre, que se desenvolve em recta permitindo atingir velocidades até cerca de 70 km/h, como referido anteriormente.

Nos veículos da categoria 2 e 3 a variação dos níveis de ruído médios emitidos nas diferentes condições de circulação não vão além dos 5 dB(A), devido ao predomínio do ruído do motor, que normalmente mantém o ruído acima dos 70 dB(A).

Valores de ruído superiores a 75 dB(A) também são observados em 33% dos veículos da categoria 5 que passaram isolados nos pontos de medição.

Estes níveis de ruído elevados e que se observam em todas as categorias de veículos, são um factor de incómodo, mas não são determinantes para alterar os indicadores de ruído ( $L_n$  e  $L_{den}$ ), porque correspondem a situações que ocorrem durante um período de tempo muito reduzido no período de referência.

O estudo desenvolvido permite-nos concluir que o padrão de variação do ruído ao longo do dia é o mesmo quando se comparam dois locais da EN109 em Vagos, com idêntico volume de tráfego, mas com diferenças de velocidade na ordem dos 20km/h. A maior emissão de ruído ocorre no período do dia entre as 7h30 e as 21h00, sem que se verifiquem picos de ruído, o que se justifica por um volume de tráfego aproximadamente constante durante esse período.

A ausência desses picos de ruído característicos de horas de ponta possibilita que se determine o indicador de ruído  $L_d$ , com base em medições parciais no período diurno, sem que se registem diferenças superiores a 2 dB(A) relativamente ao valor de  $L_d$  mais preciso, obtido com medições contínuas em todo o período de referência.

O indicador de ruído nocturno determinado por medições parciais é o que apresenta maior diferença. É de esperar que se obtenha cerca de mais 2 dB(A) ou menos 5 dB(A), face ao valor mais preciso, dependendo se o início da medição for às 23h00 ou à 1h30, independentemente de se considerar um tempo de medição de 30 minutos ou 60 minutos. A solução para evitar estes desvios de valores passa por não realizar as medições nos dois dias à mesma hora, o que permite determinar os indicadores de ruído com uma diferença máxima de 1 dB(A).

No período de maior acalmia do ruído (entre 1h00 e as 5h00) ocorrem significativas variações nos níveis de ruído devido a passagens pontuais de veículos. Se a circulação de veículos originar, principalmente, níveis superiores a 75 dB(A) como se observou nas medições do ruído emitidos por veículos isolados, há um problema de incomodidade que não deve ser avaliado apenas com base no valor de  $L_n$  e que pode estar a afectar, significativamente, a qualidade de vida das populações que se fixaram ao longo destas vias de comunicação.

## 7.2 – Desenvolvimentos futuros

O trabalho desenvolvido na presente tese tem especial importância para se compreender como as condições de circulação afectam os níveis de ruído emitidos por veículos rodoviários. No entanto a metodologia adoptada não permite que se relacione o ruído emitido com a velocidade do veículo no momento em que se regista a sua passagem, nem analisar a variação dos níveis de ruído na aproximação do veículo ao local em estudo. É portanto necessário adaptar o método de medição, de modo a que seja possível relacionar o ruído com o factor velocidade/aceleração, identificando com rigor a causa dos níveis de ruído superiores a 70 dB(A) emitidos por veículos da categoria 1 isolados, em zonas onde a velocidade é predominantemente inferior a 50 km/h.

Importa estudar de que modo os níveis de ruído de tráfego particularmente elevados, ou os que ocorrem durante o período nocturno, afectam a qualidade de vida das populações que se fixaram ao longo das estradas nacionais.

No seguimento do presente trabalho devem ser comparados os valores obtidos com valores a simular por métodos de cálculo.

Por fim devem ser estudadas e avaliadas no terreno possíveis soluções para redução do ruído na estrada EN109 onde já se verificam valores de  $L_{den}$  e  $L_n$  superiores aos limites de exposição impostos pelo Regulamento Geral do Ruído.

As soluções de mitigação do ruído a desenvolver devem ser compatíveis com a circulação de veículos pesados (categoria 2 e 3) e com um previsível aumento do tráfego rodoviário, avaliado até que ponto essas soluções podem ser aplicadas noutras estradas nacionais que atravessam aglomerados urbanos.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto Nacional de Estatística. *Infra-estruturas Rodoviárias*. Dezembro de 2002. Acedido em Março de 2009, em: <http://www.ine.pt>
- [2] Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro. *Diário da República n.º 12/2007 – I Série*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- [3] <http://www.imagine-project.org>
- [4] Chambers, J. and Jensen, P. *Advanced Air and Noise Pollution Control*. Handbook of environmental Engineering, volume 2. Edited by Wang, L., Pereira and N., Hung, Y.: Humana Press. Totowa, New Jersey. 2005. Chapter 12 and 13. ISBN: 1-58829-359-9
- [5] Everest, F. *Master Handbook of Acoustics*. 4ª edition, McGraw-Hill. 2001. ISBN: 0-07-139974-7
- [6] Carvalho, A. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. 7ª edição, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Setembro de 2008.
- [7] Timerson, B. *A Guide to Noise Control in Minnesota*. Minnesota Pollution Control Agency. Acedido em Março de 2009, em: <http://www.nonoise.org/library/sndbasic/sndbasic.htm>
- [8] López, M. *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Editorial Paraninfo. 1999. ISBN: 84-283-2571-5.
- [9] *Software CESVA Capture Studio*, version 7.1.0
- [10] Harris, C. *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruído*. 3ª Edición, McGraw-Hill. ISBN: 84-481-1619-4.
- [11] Raitanen, N. *Measuring of Noise and Wearing of Quiet Surfaces*. Doctoral Dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology. 2005
- [12] Norma ISO 9613-2. *Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors*. Part 2: General Method of Calculation. Geneve, Switzerland. 1996.

- 
- [13] FEHRL. *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. Brussels, Belgium. 2006. ISBN: 90-9020404-0 / 978-90-9020404-8.
- [14] Lei n.º 11/87 de 7 de Abril. *Diário da República n.º 81/87 – I Série*. Lei de Bases do Ambiente. Lisboa.
- [15] *Futura Política de Ruído*. Livro Verde da Comissão Europeia. Novembro de 1996.
- [16] Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro. *Diário da República n.º 263/2000 – I Série*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.
- [17] Beuving, M. and Vos, P. *IMAGINE – State of the Art*. Deliverable 2 of the Imagine Project. October, 2004. Acedido em: <http://www.imagine-project.org>
- [18] Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho. *Diário da República n.º 146/2006 – I Série*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- [19a] NP1730-1. *Acústica – Descrição e Medição do Ruído Ambiente*. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos. 1996.
- [19b] NP1730-2. *Acústica – Descrição e Medição do Ruído Ambiente*. Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo. 1996.
- [19c] NP1730-3. *Acústica – Descrição e Medição do Ruído Ambiente*. Parte 3: Aplicação aos limites do ruído. 1996.
- [20] Santos, L. e Valado, F. *O Mapa de Ruído Municipal como Ferramenta de Planeamento*. Acústica 2004 – IV Congresso Ibérico de Acústica, Guimarães, Portugal. Paper ID: 162.
- [21] Instituto do Ambiente. *Directrizes para a Elaboração de Mapas de Ruído*. Amadora, Portugal. Março de 2007.
- [22] *Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. L189/12.
- [23] *Harmonised, accurate and reliable prediction methods for the EU directive on the assessment and management (Harmonoise)*. Acedido em Fevereiro de 2009, no website da: CORDIS, Information & Communication Technologies: [http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ\\_ICT&ACTION=D&DOC=16&CAT=PROJ&QUERY=0124baadd9d3:cb40:6bf74ed5&RCN=57829](http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ_ICT&ACTION=D&DOC=16&CAT=PROJ&QUERY=0124baadd9d3:cb40:6bf74ed5&RCN=57829)
- [24] Sandberg, U. *Vehicle Categories for Description of Noise Sources*. Draft for Final Technical Report. August, 2003. Document identity: HAR11TR-030108-VTI04 (vehicle categories).

- 
- [25] Peeters, B. and Blokland, G. *The Emission Model For European Road Traffic*. Deliverable 11 of the IMAGINE Project. January, 2007. Document identity: IMA55TR-060821-MP10.
- [26] Peeters, B. *Assessment Programme for Parameters of the “General” European Vehicle Fleet*. Deliverable D3 of the IMAGINE Project. January, 2006. Document identity: IMA52TR-060111-MP10
- [27] Bendtsen, H. and Andersen, B. *Noise – Reducing Pavement for Highways and Urban Roads – State of the Art in Denmark*. 2005.
- [28] Kloth, M., Vancluysen, K., Clement, F. and Ellebjerg, P. *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans*. SILENCE Project. Acedido em: [http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP\\_J/E-learning/Planners/SILENCE\\_Handbook\\_Local\\_noise\\_action\\_plans.pdf](http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_J/E-learning/Planners/SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans.pdf)
- [29] *Inventory of Noise Mitigation Methods*. Working Group 5: Abatement. The European Commission. July, 2002. Acedido em: <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-inventaire-methodes-reduction-bruit-ambient-2002.pdf>
- [30] Steven, H. *Investigations on Noise Emission of Motor Vehicles in Road Traffic*. TÜV Nord Mobilität - RWTÜV Fahrzeug GmbH, Institute for Vehicle Technology. Würselen, Germany. February, 2005.
- [31] Santos, A. *Estudo da Eficácia na Redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes*. Tese de Mestrado em Engenharia Rodoviária. Universidade do Minho. Março de 2007.
- [32] Norma ISO 11819-1. *Acoustics – measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-by Method*. Genève, Switzerland. September of 1997.
- [33] Conter, M. *Statistical Properties of Road Traffic Noise Emission Measurements*. SURF 2008 – 6th Symposium on Pavement Surface Characteristics. Portorož, Slovenia. Acedido em Fevereiro de 2009, em: [http://carbon.videolectures.net/2008/contrib/surf08\\_portoroz/haider\\_sport/surf08\\_haider\\_sport\\_01.pdf](http://carbon.videolectures.net/2008/contrib/surf08_portoroz/haider_sport/surf08_haider_sport_01.pdf)
- [34] Kuijpers, A. and Blokland, G. *Simulation Tool for Road/Tyre Modelling – The influence of road parameters on tyre/road noise*. SILENCE WPC.D2 road parameter

- 
- influence. 2006. Acedido em Março de 2009, em: [http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP\\_C/SILENCE\\_CD2.pdf](http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_C/SILENCE_CD2.pdf)
- [35] *Determination of Lden and Lnight using measurements*. 8th draft. January, 2006. Document identity: IMA32TR-040510-SP08. Acedido em: [http://www.imagine-project.org/bestanden/D5\\_IMA32TR-040510-SP08.pdf](http://www.imagine-project.org/bestanden/D5_IMA32TR-040510-SP08.pdf)
- [36] Brüel & Kjaer. *Measuring Sound*. Acedido em: <http://www.bksv.com/library/primers.aspx>
- [37] *Plano de Pormenor Parque Empresarial de Soza – Parcela A*. Relatório do Plano, volume 1. Julho de 2009. Acedido no *Web site* da Câmara Municipal de Vagos: <http://www.cm-vagos.pt/document/800310/pp-fontao/discussao%20publica/01-Relatorio-Plano-Final-Julho09.pdf>
- [38] <http://www.cm-vagos.pt>
- [39] <http://meteorologia.cm-vagos.pt>
- [40] Goodman, P. and Skelton, P. *Collection Methods for Additional Data*. WP2: Demand and traffic flow management. May, 2006. Document identity: IMA02TR-060525-UL10.
- [41] Padillo, D. *Comentarios sobre los distintos tipos de sonómetros, sus especificaciones técnicas y su uso*. Acedido em Março de 2009, em: <http://www.ruidos.org/Documentos/sonometros.html>
- [42] Afonso, J. e Dias, M. *Noise Levels in the Hospital Environment*. TecnoHospital – Revista de Instalações e Equipamentos de Saúde n.º 8. Junho de 2001. p. 30-40
- [43] <http://www.npww.com/help/iec-ansi.asp>