

RUÍDO NA CIDADE DO PORTO

A evolução em duas décadas

RUI ALEXANDRE FRANÇA DE JESUS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha Família

Eis o princípio da sabedoria: adquirir a sabedoria, adquirir a inteligência, custe o que custar.

Prov 4

AGRADECIMENTOS

Ao Professor António Pedro Oliveira de Carvalho gostaria de demonstrar a minha gratidão pela orientação, motivação e disponibilidade mostrada ao longo da elaboração deste trabalho.

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao Laboratório de Acústica da FEUP, nomeadamente ao Engenheiro Eduardo Costa pela ajuda e pelos contributos dados.

À minha família o meu agradecimento, por todo o apoio, carinho e amizade demonstrados.

RESUMO

A cidade enquanto meio em que o ser humano vive e trabalha é fonte de diferentes tipos de sons e ruídos.

Numa reportagem publicada na revista do *Jornal de Notícias* (JN) em Maio de 1990, com base num estudo realizado pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e com dados da OCDE, afirmava-se que o Porto era uma “*cidade feita de ruído*” e que era perfeitamente possível que “*fosse a cidade da Europa Ocidental com o nível de barulho mais elevado*”.

O presente trabalho tem como finalidade analisar e caracterizar a evolução do ruído, tendo por base os valores e os locais constantes nessa reportagem de 1990.

Numa primeira fase faz-se uma breve análise sobre a temática do ruído, sua origem e propagação bem como o seu impacto no Homem. Faz-se um destaque, em particular, ao Regulamento Geral do Ruído (RGR), cujo objecto prende-se na prevenção do ruído e controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.

Em ordem a conhecer e esclarecer a metodologia que se pretende utilizar, faz-se um sucinto ponto de situação relativo aos parâmetros de medição do ruído, equipamentos disponíveis e às normas e procedimentos existentes.

Porque a cidade do Porto apresenta um ambiente urbano próprio, no que diz respeito à sua localização, história e contexto social, faz-se uma curta descrição destes aspectos realçando, em termos de ruído, as suas principais características.

Descritos os pontos anteriores, é com os valores resultantes das medições no terreno que se tiram algumas conclusões sobre o modo como o ruído está presente e afecta os cidadãos portuenses. É a partir destes dados que se tiram ilações sobre a evolução do ruído.

O Porto é uma cidade que sofreu transformações ao longo dos últimos vinte anos. Atendendo a este aspecto, analisam-se ainda alguns lugares onde se verificaram significativas alterações no tráfego: VCI, Túnel de Ceuta e junto a paragens do Metro.

Outra grande alteração foi a intenção de dinamização do centro do Porto. Por isso apresenta-se por último a análise do nível sonoro do ruído resultante de actividades de divertimento e animação em período nocturno que apareceram para revitalizar algumas ruas da cidade.

Comparam-se também os valores obtidos com os níveis de ruído de origem natural presentes em locais de lazer.

O presente trabalho não tem o carácter abrangente, minucioso ou exaustivo que se teria caso se pretendesse conhecer todas as causas da evolução do ruído na cidade do Porto. Espera-se que o conteúdo se torne um alerta e um incentivo para desenvolvimentos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Ambiente, Porto, Níveis sonoros.

ABSTRACT

The town, as a way in which humans live and work, is a source of different sounds and noises.

In a report published in the *Jornal de Notícias* magazine (JN) on May 1990, based on a study conducted by the Laboratory of Acoustics of the Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP) and OECD data, it was stated that Porto was a "*city made of noise*" and it was perfectly possible that "*it was the Western European town with the highest level of noise*".

This thesis aims to examine and characterize the evolution of noise in the last two decades, based on the values and locations listed in that work from 1990.

Initially a brief review is given on the subject of noise, its origins and spread as well as its impact on humans. It is focused on the Portuguese Noise Code (RGR), whose subject relates to the prevention of noise and noise pollution control in order to safeguard human health and wellbeing of populations.

In order to understand and explain the methodology used, it is described a brief update on the standards, procedures and the parameters of noise measurement and equipment available.

Because the city of Porto has a unique urban environment, with regard to its location, history and social context, a short description is given emphasizing these aspects in terms of noise and its main features.

With the resulting values of measurements on the ground, some conclusions are expressed about how the noise affects Porto's citizens. It is from these data that inferences are taken about the evolution of the noise.

Porto is a town that has suffered transformations over the past twenty years. Due to this, there were some places where significant changes in traffic were seen: VCI, Ceuta's tunnel and near Metro stops.

Taking into account the fact that there is an intention to stimulate the center of Porto, an analysis is done of the soundscape resulting from entertainment activities at night time that appeared to revitalize some downtown city streets.

It is also compared the values obtained with the noise levels naturally occurring in places of leisure.

This study lacked the exhaustive and extensive approach that it would have if it wished to know all the causes for the evolution of noise in Porto. It is expected that the content becomes a warning and an incentive for future developments.

KEYWORDS: Acoustics, Environment, Porto, Sound Levels.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO

1

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
---------------------------------------	---

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
------------------------------------	---

2. CONCEITOS TEÓRICOS E FUNDAMENTOS

3

2.1. A ACÚSTICA E O RUÍDO	3
---------------------------------	---

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO	3
------------------------------------	---

2.2.1. Pressão Sonora e Decibel	3
---------------------------------------	---

2.2.2. Frequência e Curva de Ponderação	6
---	---

2.2.3. Análise no Tempo	7
-------------------------------	---

2.3. FONTES SONORAS	8
---------------------------	---

2.3.1. Características das Fontes Sonoras	8
---	---

2.3.2. Tipos de Fontes e de Ruído	9
---	---

2.3.2.1. Fontes Pontuais versus Fontes Lineares	9
---	---

2.3.2.2. Tipos de Ruídos	10
--------------------------------	----

2.4. PROPAGAÇÃO DO RUÍDO	11
--------------------------------	----

2.5. INCOMODIDADE	14
-------------------------	----

2.5.1. Dados sobre a Incomodidade	14
---	----

2.5.2. Efeitos na Saúde	14
-------------------------------	----

2.5.3. Regulamentação	15
-----------------------------	----

2.5.3.1. Regulamento Geral do Ruído (RGR 2007)	15
--	----

2.5.3.2. Regulamentos Anteriores	18
--	----

2.6. CONTROLO DO RUÍDO	19
------------------------------	----

2.6.1. ACTUAÇÃO NO RUÍDO PROVENIENTE DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO	19
--	----

2.6.2. ACTUAÇÃO NOS EDIFÍCIOS	23
-------------------------------------	----

2.6.3. INTERVENÇÃO URBANA	26
---------------------------------	----

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RUÍDO AMBIENTAL	27
3.1. NORMAS E PROCEDIMENTOS	27
3.1.1. NP ISO 1996	27
3.1.2. Procedimentos de Medição do Ruído	29
3.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE	29
3.3. EQUIPAMENTOS	31
3.3.1. SONÓMETROS	31
3.3.1.1. Constituição e Classificação	31
3.3.1.2. Transdutor	32
3.3.1.3. Filtros e Ponderação em Frequência	33
3.3.1.4. Detector	33
3.3.2. MICROFONE CONDENSADOR	35
3.3.3. CALIBRADOR SONORO	37
3.4. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LOCAIS DE ESTUDO	37
3.4.1. EQUIPAMENTO	37
3.4.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE	39
3.4.3. PROCEDIMENTO	39
4. RUÍDO NA CIDADE DO PORTO	41
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DO PORTO	41
4.2. ESTUDOS E DADOS EXISTENTES	46
4.2.1. MAPA DE RUÍDO	46
4.2.2. MOBILIDADE NA CIDADE DO PORTO	47
4.2.3. “PORTO É A CIDADE DE TODOS OS RUÍDOS”	50
4.2.4. “BARULHO JÁ «ENSURDECE» NA ROTUNDA DA BOAVISTA”	52
4.2.5. RUÍDO NA VCI	54
5. MEDIÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS	57
5.1. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NOS ÚLTIMOS VINTE ANOS NA CIDADE DO PORTO	57
5.1.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	57
5.1.1.1. Contextualização	57
5.1.1.2. Ponto 1- Praça do Marquês de Pombal	58
5.1.1.3. Ponto 2 - Esquina da Rua de Santa Catarina com a Rua de Gonçalo Cristóvão	59

5.1.1.4. Ponto 3 - Praça da República (Jardim Teófilo Braga)	60
5.1.1.5. Ponto 4 - Rua da Boavista (junto à Rua da Carvalhosa)	61
5.1.1.6. Ponto 5 - Rotunda da Boavista (Praça de Mouzinho de Albuquerque)	62
5.1.1.7. Ponto 6 - Campo dos Mártires da Pátria.....	63
5.1.1.8. Pontos 7 e 8 - Jardim de S. Lázaro.....	64
5.1.1.9. Ponto 9 - Praça da Liberdade	66
5.1.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	67
5.1.3. COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE ANOS ANTERIORES	68
5.1.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	73
5.2. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA VCI	82
5.2.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	82
5.2.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	86
5.2.3. COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE 1998.....	87
5.2.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	88
5.3. INFLUÊNCIA DO TÚNEL DE CEUTA NO RUÍDO DA CIDADE DO PORTO	90
5.3.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	90
5.3.2. RESULTADOS.....	93
5.4. INFLUÊNCIA DO METRO NO RUÍDO DA CIDADE DO PORTO	95
5.4.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	95
5.4.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	100
5.4.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	101
5.5. RUÍDOS DE ORIGEM NATURAL	105
5.5.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	105
5.5.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	109
5.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	110
5.6. RUÍDOS DE ACTIVIDADES DE ENTRETENIMENTO NOCTURNO NO PORTO	114
5.6.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	114
5.6.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	116
5.6.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	117
 6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	 119
6.1. CONCLUSÃO.....	119
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	122

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 125

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1: Propagação do ruído através da alteração da pressão atmosférica ao longo do tempo [4].....	3
Fig. 2.2: Variações na pressão atmosférica provocada por vibrações sonoras [6]	4
Fig. 2.3: Limite de sensibilidade do ouvido humano para o ruído [5].....	4
Fig. 2.4: Valores da amplitude das ondas sonoras medida na escala linear (Pa) e logarítmica (dB), para diferentes tipos de fontes sonoras [7].	5
Fig. 2.5: Gamas de frequências (humanos) [5].....	6
Fig. 2.6: Descrição das curvas de ponderação A, B e C [5].	6
Fig. 2.7: Diferenças entre L50, L95 e Leq [8].....	8
Fig. 2.8: Tipos de ruídos resultantes de diferentes fontes sonoras [adaptado de 7].....	10
Fig. 2.9: Atenuação do ruído com a duplicação da distância numa fonte pontual (esquerda) e linear (direita) [4].	11
Fig. 2.10: Efeito da variação da temperatura com a altura, na propagação do ruído [adaptado de 7].....	12
Fig. 2.11: Efeito da variação da velocidade do vento com a altura na propagação do ruído [7].	12
Fig. 2.12: Efeito dos obstáculos sobre a propagação do ruído [5].....	12
Fig. 2.13: Difracção do ruído nos bordos de uma barreira acústica [5].	13
Fig. 2.14: Efeitos genéricos do ruído na saúde das pessoas [9].	15
Fig. 2.15: Níveis sonoros máximos admissíveis à saída da fábrica para os diferentes veículos motorizados [5].....	20
Fig. 2.16: Exemplos de soluções na construção de uma barreira acústica junto a uma moradia [5].....	21
Fig. 2.17: Colocação e extensão ideal para uma barreira [5].	21
Fig. 2.18: Cobertura ligeira com funções estritamente acústicas [5].	22
Fig. 2.19: Cobertura parcial da estrada (muro, cobertura ligeira e apoio) [5].	22
Fig. 2.20: Cobertura pesada sobre a qual se pode circular (túnel) [5].....	22
Fig. 2.21: Túnel Soares dos Reis em Mafamude, Vila Nova de Gaia [19].	22
Fig. 2.22: Reflexões criadas pelas barreiras laterais da via [5].	22
Fig. 2.23: A44 em Mafamude, Vila Nova de Gaia, onde se destacam os materiais absorventes aplicados nas paredes da via [19].....	22
Fig. 2.24: Diferentes disposições dos edifícios face às fontes de ruído [5].	23
Fig. 2.25: Redução do nível sonoro proporcionado pela disposição do edifício e pela colocação de uma barreira acústica de 5m de altura [5].	24

Fig. 2.26: Disposição dos compartimentos num apartamento em função do ruído exterior [5].....	24
Fig. 2.27: Abertura de ventilação tratada para minimizar a degradação do isolamento sonoro [8].....	26
Fig. 2.28: Caixa de estore tratada para minimizar a degradação do isolamento sonoro [8].	26
Fig. 2.29: Obstáculos urbanos à propagação do ruído [5].	26
Fig. 3.1: Diagrama em blocos de um sonómetro [23].	32
Fig. 3.2: Diferentes tipos de sonómetros da Brüel & Kjær [24].	32
Fig. 3.3: Relação entre valor eficaz (RMS), valor médio (average) e valor de pico (peak) [23].....	33
Fig. 3.4: Resposta Fast e Slow a um mesmo impulso sonoro [23].	34
Fig. 3.5: Resposta em frequência e sensibilidade de microfones condensadores [23].....	35
Fig. 3.6: Gamas dinâmicas de funcionamento para microfones condensadores [23].	35
Fig. 3.7: Características direccionais dos microfones de ½ polegada, B&K 4165 e 4166 [23].....	36
Fig. 3.8: Exemplo de utilização de microfones a) de pressão, b) de incidência aleatória e c) de campo livre [23].	36
Fig. 3.9: Utilização de um calibrador sonoro num antigo sonómetro B&K [23].	37
Fig. 3.10: Calibrador sonoro modelo 4231 da Brüel & Kjær [24].	37
Fig. 3.11: Sonómetro da Brüel & Kjær modelo 2236 [fotografia do autor].	38
Fig. 3.12: Sonómetro e tripé montados [fotografia do autor].	38
Fig. 3.13: Características direccionais do microfone condensador B&K 4188 nas frequências de 1, 2, 4, 8 e 12,5 kHz [25].	38
Fig. 4.1: Posicionamento da cidade do Porto em termos geográficos e regionais [27].....	41
Fig. 4.2: Edifícios e estruturas arquitectónicas da cidade do Porto. Torre dos Clérigos (esquerda), Ponte Maria Pia (centro) e Casa da Música (direita) [19].....	42
Fig. 4.3: Mapa da cidade do Porto [30].	43
Fig. 4.4: Variação relativa da população no concelho do Porto de 1991 a 2001 por freguesias [32].	44
Fig. 4.5: Densidade populacional no concelho do Porto em 2001 [32].	44
Fig. 4.6: Peso relativo da população com menos de 15 anos no total da população residente em 2001 [32].	44
Fig. 4.7: Pirâmide etária comparativa para a população por grupos etários residente no concelho do Porto entre 1990 e 2000 [32].	45
Fig. 4.8: Evolução do número total de habitantes do concelho do Porto desde 1990 até 2011.....	46

Fig. 4.9: Mapa do ruído do concelho do Porto (2005) para o período diurno, conforme RGR 2002 [34].	46
Fig. 4.10: Mapa do ruído do concelho do Porto (2005) para o período nocturno, conforme RGR 2002 [34].	47
Fig. 4.11: Estimativa das deslocações na cidade do Porto entre as 7h30 e as 9h30 em 2001 [35].	48
Fig. 4.12: Movimento nas principais entradas e saídas da cidade, entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].	48
Fig. 4.13: Relação entre os movimentos com destino (entrada) e os movimentos com origem (saída), entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].	49
Fig. 4.14: Densidade de fluxos por km ² , entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].	49
Fig. 4.15: Capa da revista do Jornal de Notícias de Domingo (JND) de 6 de Maio de 1990 [2].	50
Fig. 4.16: Localização no mapa do Porto dos locais onde se realizaram as medições em 1990, seguindo a numeração apresentada no quadro 3.1 [adaptado de 36].	51
Fig. 4.17: Valores de LA50 recolhidos para os nove locais estudados em 1990.	52
Fig. 4.18: Comparação dos valores do LA50 entre 1990 e 1998.	53
Fig. 4.19: Localização e extensão da VCI (IC23) pelos concelhos do Porto e Vila Nova de Gaia [38].	54
Fig. 4.20: Localização no mapa do Porto dos seis locais onde se realizaram as medições junto à VCI em 1998, seguindo a numeração apresentada no quadro 4.3 [adaptado de 36].	55
Fig. 4.21: Valores obtidos nas medições de 1998 junto da VCI [37].	56
Fig. 5.1: Localização do ponto 1 na Praça do Marquês de Pombal na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da direita, referente à Carta das Condicionantes do Porto, com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona mista) [41].	58
Fig. 5.2: Medição na Praça do Marquês de Pombal (Ponto 1), vista para a Rua da Constituição [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	59
Fig. 5.3: Medição na Praça do Marquês de Pombal (Ponto 1), vista para o jardim [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	59
Fig. 5.4: Localização do ponto 2 na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da carta das condicionantes do Porto (em cima à direita), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona mista; azul: zona sensível; branco: zona não classificada) [41].	59
Fig. 5.5: Medição no local 2, vista para a Rua Gonçalo Cristóvão e sede do ACP [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	60

Fig. 5.6: Medição no local 2, vista para a Rua Santa Catarina [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	60
Fig. 5.7: Localização do ponto 3 na Praça da República na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto (à direita), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona mista) [41].	60
Fig. 5.8: Medição na Praça da República (Ponto 3), vista para o jardim [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	61
Fig. 5.9: Medição na Praça da República (Ponto 3), vista para o trânsito rodoviário [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	61
Fig. 5.10: Localização do ponto 4 na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona mista) [41].	61
Fig. 5.11: Medição no ponto 4, vista para a rua da Boavista [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	62
Fig. 5.12: Medição no ponto 4, vista a partir da rua Aníbal Cunha [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].	62
Fig. 5.13: Localização do ponto 5 na Rotunda da Boavista na cidade do Porto [adaptado de 36]. Classificação segundo a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima) como zona mista (amarelo) [41].	62
Fig. 5.14: Medição no ponto 5 na Rotunda da Boavista, vista para a Rua da Boavista [fotografia do autor, 4/4/2011].	63
Fig. 5.15: Medição no ponto 5 na Rotunda da Boavista, vista para o jardim [fotografia do autor, 4/4/2011].	63
Fig. 5.16: Localização do ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria na cidade do Porto [adaptado de 36]. Classificação segundo a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima) como zona mista (amarelo) [41].	63
Fig. 5.17: Ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria em 1990 [2].	64
Fig. 5.18: Medição no ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria [fotografia do autor, 4/4/2011].	64
Fig. 5.19: Localização do Jardim de S. Lázaro na cidade do Porto e dos pontos 7 e 8 onde se realizaram as medições [adaptado de 36]. Destaque para a imagem referente à Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto à sensibilidade ao ruído (zona mista com proximidade de zona sensível) [41].	64
Fig. 5.20: Medição no ponto 7, vista para a Rua Rodrigues de Freitas [fotografia do autor, 4/4/2011].	65
Fig. 5.21: Medição no ponto 7, vista para o Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].	65
Fig. 5.22: Medição no ponto 8, entrada NE do Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].	65

Fig. 5.23: Medição no ponto 8, vista para o Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].	65
Fig. 5.24: Localização do ponto 9 na Praça da Liberdade na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (zona mista) [41].	66
Fig. 5.25: Avenida dos Aliados antes (esquerda) e depois (direita) da intervenção de 2006 [43].	66
Fig. 5.26: Medição na Praça da Liberdade no ponto 9, vista para a Rua dos Clérigos [fotografia do autor, 5/4/2011].	67
Fig. 5.27: Medição na Praça da Liberdade no ponto 9, vista para a Avenida dos Aliados [fotografia do autor, 5/4/2011].	67
Fig. 5.28: Valores resultantes das medições realizadas nos nove pontos no centro da cidade do Porto.	67
Fig. 5.29: Comparação dos valores do LA10 de 1990, 1998 e 2011.	69
Fig. 5.30: Comparação dos valores do LA50 de 1990, 1998 e 2011.	70
Fig. 5.31: Comparação dos valores do LA90 de 1990, 1998 e 2011.	71
Fig. 5.32: Comparação dos valores do LAeq entre 1990 (previsto), 1998 e 2011.	72
Fig. 5.33: Variação em 21 anos do $\Delta LA = LA(2011) - LA(1990)$ para os nove lugares.	75
Fig. 5.34: Variação em 13 anos do $\Delta LA = LA(2011) - LA(1998)$ para os nove lugares.	76
Fig. 5.35: Média dos valores do LAeq para o Porto e para cidades do sul da Europa [44].	82
Fig. 5.36: Fluxo de tráfego na área metropolitana do Porto [45].	82
Fig. 5.37: Valores da TMDA em algumas secções representativas na área metropolitana do Porto e a respectiva variação desde 2009 a 2010 [45].	83
Fig. 5.38: Localização dos pontos 10 a 15 na Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona mista, azul: zona sensível, branco: zona não classificada) [41].	84
Fig. 5.39: Medição no local 10 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.40: Medição no local 11 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.41: Medição no local 12 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.42: Medição no local 13 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.43: Medição no local 14 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.44: Medição no local 15 junto à VCI [fotografia do autor, 15/4/2011].	85
Fig. 5.45: Valores das medições efectuadas junto à VCI em 2011.	87
Fig. 5.46: Comparação dos valores do LAeq entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.	87
Fig. 5.47: Comparação dos valores do LA10 entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.	87

Fig. 5.48: Comparação dos valores do LA50 entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.....	88
Fig. 5.49: Comparação dos valores do LA90 entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.....	88
Fig. 5.50: Variação em 13 anos do $\Delta LA = LA(2011) - LA(1998)$ para os seis lugares situados junto à VCI.	89
Fig. 5.51: Localização na cidade do Porto da entrada e das saídas do Túnel de Ceuta, bem como dos locais onde se realizaram as medições dos níveis sonoros [adaptado de 36].....	91
Fig. 5.52: Carta das condicionantes do Porto com a localização dos pontos 16 a 20, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona mista; azul: zona sensível) [41].....	92
Fig. 5.53: Medição no local 16, com vista para a segunda saída do Túnel de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].	92
Fig. 5.54: Medição no local 17, com vista para o Hospital Santo António [fotografia do autor, 5/4/2011].	92
Fig. 5.55: Medição no local 18, com vista para o Jardim do Carregado [fotografia do autor, 5/4/2011].	92
Fig. 5.56: Medição no local 19, com vista para a entrada do Túnel de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].	92
Fig. 5.57: Entrada do Túnel de Ceuta, ou Túnel dos Almadas [fotografia do autor, 5/4/2011].....	92
Fig. 5.58: Medição no local 20, na subida da Rua de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].....	92
Fig. 5.59: Valores obtidos nas medições em 2011 nos locais perto do Túnel de Ceuta.	93
Fig. 5.60: Destaque dos valores do LAeq para os locais juntos às saídas do Túnel de Ceuta.	94
Fig. 5.61: Destaque dos valores do LAeq para os locais juntos à entrada do Túnel de Ceuta.	94
Fig. 5.62: Mapa da rede do Metro do Porto [47].	95
Fig. 5.63: Localização dos locais numerados de 21 a 27 para análise da influência do Metro no ruído da cidade do Porto [adaptado de 36].	97
Fig. 5.64: Carta das condicionantes da cidade do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona mista; azul: zona sensível) [41].....	98
Fig. 5.65: Carta de condicionantes de Vila Nova de Gaia, relativa ao zonamento quanto à sensibilidade ao ruído, em que se classifica o local 23 como uma área mista [50].	98
Fig. 5.66: Medição na estação do IPO, ponto 21 [fotografia do autor, 7/4/2011].	99
Fig. 5.67: Medição na estação do pólo Universitário, ponto 22 [fotografia do autor, 7/4/2011].....	99

Fig. 5.68: Medição na estação do Jardim do Morro (V. N. de Gaia), ponto 23 [fotografia do autor, 7/4/2011].	99
Fig. 5.69: Medição na Rua Dr. Roberto Frias, ponto 24 [fotografia do autor, 7/4/2011].	99
Fig. 5.70: Medição na Rua Dr. Roberto Frias, junto à paragem de autocarros, ponto 25 [fotografia do autor, 7/4/2011].	100
Fig. 5.71: Medição na Avenida dos Aliados, vista para a câmara municipal, ponto 26 [fotografia do autor, 5/4/2011].	100
Fig. 5.72: Medição na Avenida dos Aliados, ponto 26 [fotografia do autor, 5/4/2011].	100
Fig. 5.73: Medição na Rua Alexandre Braga, ponto 27 [fotografia do autor, 5/4/2011].	100
Fig. 5.74: Valores obtidos nas medições nos sete locais relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP).	100
Fig. 5.75: Destaque do valor do LAeq para os três tipos de estações de metro analisadas.	102
Fig. 5.76: Destaque dos valores dos parâmetros estatísticos para os locais 22 e 23.	102
Fig. 5.77: Destaque dos valores de LAeq para os locais 21 e 24.	103
Fig. 5.78: Destaque dos valores de LAeq para os locais 24 e 25.	104
Fig. 5.79: Destaque dos valores do LAeq para as três paragens de autocarros analisadas.	105
Fig. 5.80: Localização dos seis locais identificados de 28 a 33, onde se realizaram medições para avaliar os ruídos de origem natural [adaptado de 36].	107
Fig. 5.81: Medição do ruído da água a cair no local 28 [fotografia do autor, 4/4/2011].	108
Fig. 5.82: Medição do ruído da água a cair no local 29 [fotografia do autor, 7/4/2011].	108
Fig. 5.83: Medição do ruído do mar no local 30 [fotografia do autor, 4/4/2011].	108
Fig. 5.84: Medição do ruído das aves e árvores no local 31 [fotografia do autor, 5/4/2011].	108
Fig. 5.85: Medição do ruído da água a cair, aves e árvores no local 32 [fotografia do autor, 7/4/2011].	108
Fig. 5.86: Medição do ruído do vento no local 33 [fotografia do autor, 7/4/2011].	108
Fig. 5.87: Localização dos pontos 28 a 32 na Carta das Condicionantes da cidade do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona mista; azul: zona sensível) [41].	109
Fig. 5.88: Carta de condicionantes de Vila Nova de Gaia, relativa ao zonamento quanto à sensibilidade ao ruído, em que se classifica o local 33 como uma área mista [50].	109
Fig. 5.89: Valores obtidos nas medições nos seis locais relacionados com os ruídos de origem natural.	109
Fig. 5.90: Valores do LAeq para os diferentes tipos de ruídos de origem natural medidos.	110
Fig. 5.91: Valor do LAeq para os nove locais situados em meio urbano (1 a 9) e para os seis locais referentes a ruídos naturais (28 a 33).	112

Fig. 5.92: Valores médios aritméticos dos diferentes níveis sonoros medidos em locais com ruído de origem natural e locais com ruído de tráfego rodoviário do primeiro caso de estudo.	113
Fig. 5.93: Localização dos locais 34 e 35 na Rua das Galerias de Paris [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da direita, referente à Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona mista) [41].	114
Fig. 5.94: Local 34 situado na esquina da R. das Galerias de Paris [fotografia do autor, 11/5/2011].....	115
Fig. 5.95: Local 35 situado na R. das Galerias de Paris [Fotografia do autor, 11/5/2011]	115
Fig. 5.96: Local 35n, situado na Rua das Galerias de Paris [fotografia do autor, 12/5/2011].....	115
Fig. 5.97: Valores obtidos nas medições realizadas na R. das Galerias de Paris.	116
Fig. 5.98: Valores médios dos diferentes níveis sonoros medidos em locais com ruído com ruído de tráfego rodoviário do primeiro caso de estudo (pontos 1 a 9, excepto 6) e locais com ruído de entretenimento nocturno (2011).....	117

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Valores numéricos das ponderações da curva A para bandas de 1/1 oitava na gama do audível [8].	7
Quadro 2.2: Valores limite máximos de exposição de acordo como o RGR 2007, em função da classificação da zona [8].	17
Quadro 2.3: Valores de D em função da percentagem de tempo de emergência, q [8].	18
Quadro 2.4: Classificação dos locais para implantação dos edifícios de acordo com o RGR de 1987 [10].	19
Quadro 2.5: Valores limite de exposição de acordo como o RGR 2002, em função da classificação da zona [18].	19
Quadro 2.6: Valores de D _{2m,nT,w} para os diferentes tipos de edifícios abordados pelo RRAE [8].	25
Quadro 3.1: Parâmetros de Avaliação do Ruído [14].	30
Quadro 3.2: Constantes de tempo possíveis de analisar no sonómetro e suas aplicações [23].	34
Quadro 4.1: Variação da população no concelho do Porto desde 1990 até 2011.	45
Quadro 4.2: Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto, a 20 de Março de 1990 entre as 15 e as 17:30 h [2].	51
Quadro 4.3: Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto, a 8 de Maio de 1998 entre as 15 e as 17:30 h [37].	53
Quadro 4.4: Níveis de Ruído Ambiental junto à VCI, a 29 de Maio de 1998 entre as 15 e as 17:30h [37].	56
Quadro 5.1: Condições meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições [39].	58
Quadro 5.2: Valores obtidos nas medições de 2011 nos locais designados de 1 a 9, situados no centro da cidade do Porto.	68
Quadro 5.3: Valores do LA ₁₀ para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (Δ LA ₁₀) de 1990 para 2011.	69
Quadro 5.4: Valores do LA ₅₀ para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (Δ LA ₅₀) de 1990 para 2011.	70
Quadro 5.5: Valores do LA ₉₀ para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (Δ LA ₉₀) de 1990 para 2011.	71
Quadro 5.6: Estimativas dos valores do LA _{eq} , para as medições de 1990, com previsão de modelo linear geral linear.	72
Quadro 5.7: Valores do aumento do nível sonoro (Δ LA) representativos da presença próxima do tráfego rodoviário.	73

Quadro 5.8: Valores médios dos níveis sonoros medidos nos locais com tráfego rodoviário.....	74
Quadro 5.9: Variação dos níveis sonoros em 21 anos ($\Delta LA = LA(2011) - LA(1990)$) para os nove locais e sua média aritmética.	75
Quadro 5.10: Variação dos níveis sonoros em 13 anos ($\Delta LA = LA(2011) - LA(1998)$) para os nove locais e sua média aritmética.	76
Quadro 5.11: Hora e duração das medições que se realizaram no dia 15 de Abril de 2011, nos locais junto à VCI.....	83
Quadro 5.12: Condições Meteorológicas no aeroporto do Porto no dia em que se efectuaram as medições junto à VCI [39].	84
Quadro 5.13: Valores obtidos nas medições em 1998 e 2011 nos locais designados de 10 a 15, situados junto à VCI.	86
Quadro 5.14: $\Delta LA = LA(2011) - LA(1998)$ para os seis locais junto à VCI e sua média aritmética.	89
Quadro 5.15: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) do dia em que se efectuaram as medições junto ao Túnel de Ceuta [39].	91
Quadro 5.16: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 16 a 20, situados nas proximidades do acesso e das saídas do Túnel de Ceuta.	93
Quadro 5.17: Locais numerados de 21 a 27 para análise da influência do Metro no ruído da cidade do Porto.	96
Quadro 5.18: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP) [39].	97
Quadro 5.19: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 21 a 27, relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP).	101
Quadro 5.20: Locais onde se realizaram as medições para analisar o ruído de origem natural.....	106
Quadro 5.21: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com ruídos de origem natural [39].	108
Quadro 5.22: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 28 a 33, relacionados com os ruídos de origem natural.	110
Quadro 5.23: Valores médios (aritméticos) dos níveis sonoros dos ruídos de origem natural (pontos 28 a 33 de forma global ou considerando o predomínio ou não da água no ruído) e do ruído urbano (1 a 9, sem o ponto 6).	113
Quadro 5.24: Locais onde se realizaram as medições para analisar o ruído proveniente de actividades nocturnas.....	115
Quadro 5.25: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) no dia em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com o ruído de actividades de entretenimento nocturno [39].	116

Quadro 5.26: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 34, 35 e 35n (em 2010 e 2011), relacionados com os ruídos provenientes de actividades de entretenimento nocturnos.....	116
---	-----

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

c – celeridade [m/s]

$D_{2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos ponderados aplicados a elementos exteriores [dB – decibel]

E – exposição sonora [Pa^2s]

E_0 – exposição sonora de referência [$400 \mu\text{Pa}^2\text{s}$]

F – constante de tempo *Fast*

Hz – hertz

I – intensidade sonora [W/m^2]

I – constante de tempo *Impulsive*

K – penalizações (tonal ou *Impulsive*) para o cálculo do critério de incomodidade

L_A – nível sonoro, ponderado A [dB]

L_{Aeq} – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A [dB]

L_{A10} – nível sonoro excedido em 10% do tempo de medição, ponderado A [dB]

L_{A50} – nível sonoro excedido em 50% do tempo de medição, ponderado A [dB]

L_{A90} – nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição, ponderado A [dB]

L_d – indicador de ruído diurno [dB(A)]

L_{den} – indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno [dB(A)]

L_e – indicador de ruído entardecer [dB]

L_E ou SEL – nível de exposição sonora [dB]

L_{eq} – nível de pressão sonora contínua equivalente [dB]

L_{max} – nível máximo de pressão sonora [dB]

L_n – indicador de ruído nocturno [dB]

L_N – nível de pressão sonora excedida em N% do tempo de medição [dB]

L_p – nível de pressão sonora [dB]

L_{peak} – nível de pressão sonora de pico [dB]

L_{RE} – nível de avaliação de exposição sonora [dB]

L_{Req} – nível de avaliação contínua equivalente [dB]

p – pressão sonora [Pa]

Pa – pascal

p_0 – pressão sonora de referência [2×10^{-5} Pa]

p_{peak} – pressão sonora de pico [Pa]

q – tempo de emergência do ruído perturbador [%]

RMS – pressão eficaz

S – constante de tempo *Slow*

t – tempo [s]

T – temperatura em graus kelvin [K]

w – watt

W – potência sonora [W]

ρ – massa volúmica do ar [$\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$]

θ – temperatura em graus celsius [$^{\circ}\text{C}$]

A_i – Auto-estrada número i

APPS – Associação Portuguesa de Paralisia Cerebral

DL – Decreto-Lei

EN_i – Estrada Nacional número i

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GIT – Grande Infra-estrutura de Transporte

IC_i – Itinerário Complementar número i

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – Organização Internacional de Normalização

JN – Jornal de Notícias

NP – Norma Portuguesa

NUTS – Matriz territorial de referência para a apresentação de dados estatísticos

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OMS – Organização Mundial de Saúde

PDM – Plano Director Municipal

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RLPS – Regulamento Legal sobre a Poluição Sonora

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

STCP – Sociedade de Transportes Colectivos do Porto

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

VCI – Via de Cintura Interna

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

O ser humano enquanto espécie dominante marcou e moldou o ambiente natural transformando-o em prol da satisfação das suas necessidades. Foi em favor destas que se desenvolveram as cidades onde hoje se concentra a maior parte da população.

O ruído é um fenómeno que desde cedo acompanhou o Homem na sua vida e actividades e que se demonstrou incomodativo. Na antiga Roma existiam leis que proibiam a passagem nocturna de carruagens e carroças, pois o barulho provocado pelo seu contacto com as pedras do pavimento era incómodo para os vizinhos [1].

Facilmente se encontra no meio circundante actual diversas fontes de ruído que afectam o quotidiano do ser humano. As principais fontes incluem as vias rodoviárias, ferroviárias e o tráfego aéreo, a indústria, a construção, os trabalhos exteriores e a própria vizinhança.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) o ruído pode causar um conjunto de problemas para a saúde a curto e longo prazo como: distúrbio do sono, efeitos cardiovasculares, baixos desempenhos no trabalho e na escola, etc. [1]. Devido aos problemas para a saúde do Homem, o ruído foi e continua a ser alvo de interesse e de estudo.

Em 1990 uma reportagem do *Jornal de Notícias* [2] apontava a cidade do Porto como “a cidade de todos os ruídos”. Afirmava-se na altura que em termos de ruído “entre o real e o desejável, o Porto conhece o abismo”. Será que passadas duas décadas tal se pode continuar a afirmar? Existiu alguma evolução ou continua tudo igual?

Os objectivos impulsionadores deste trabalho passam pela repetição das medições nos mesmos locais indicados na supra citada reportagem. Procede-se ainda à pesquisa e recolha de valores que complementem a informação obtida através de estudos de outros anos.

Tal como se disse inicialmente, o Homem é um ser interventivo no seu meio, e por isso existiram mudanças na cidade ao longo destes últimos anos que suscitam curiosidade acerca do ruído daí resultante e das suas implicações em termos de incomodidade. É por este motivo que se incluem neste estudo a análise do ruído existente na Via de Cintura Interna (VCI), do ruído provocado pela introdução do Metro do Porto, pela implementação de desvios no tráfego como o Túnel de Ceuta e da revitalização das ruas mais desabitadas do centro do Porto com a introdução de actividades de entretenimento nocturno.

Existe ainda um último ponto que se analisa neste trabalho que consiste na análise de ruídos de causa natural existentes no Porto. Esta avaliação passa pela avaliação dos níveis sonoros de ruídos como o vento, o mar, os pássaros e a água a cair e na comparação com o ruído das

restantes situações. O objectivo é analisar ruídos que podem ter carácter não incomodativo mas com níveis sonoros não negligenciáveis.

É em torno destes temas que se desenvolve o presente trabalho, em que se procura fortalecer alguns conhecimentos da Acústica Ambiental e de Edifícios aplicando-os a casos práticos com impacto na sociedade portuense. O objectivo final consiste na análise global de como o ruído está presente e evoluiu na cidade do Porto desde 1990 até 2011.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para uma melhor compreensão da forma como se analisa e desenvolve a problemática deste trabalho, descreve-se sucintamente os principais capítulos que o constituem e o conteúdo que estes abordam.

No capítulo 2, “Conceitos Teóricos e Fundamentos”, procede-se à análise dos princípios básicos da Acústica Ambiental e de Edifícios. A informação descrita é resultante da pesquisa em diferentes fontes bibliográficas disponíveis.

Além dos conceitos teóricos de base abordam-se ainda alguns fundamentos relativos à incomodidade do ruído bem como os regulamentos aplicáveis, em que se destaca o Regulamento Geral do Ruído (RGR), análise esta fundamental para conhecer os limites definidos por lei para o meio em que se insere o estudo. Este capítulo continua com o desenvolvimento de alguns conceitos relacionados com as actuações possíveis de reduzir o ruído nas cidades.

Para o terceiro capítulo, “Metodologia de Análise de Ruído Ambiental”, prossegue-se com a descrição das normas e procedimentos existentes e dos parâmetros de análise possíveis de aplicar. Faz-se posteriormente uma descrição das características dos equipamentos disponíveis para a realização das medições. Este capítulo termina com a descrição da metodologia utilizada nos diferentes casos de estudo.

O capítulo 4 intitula-se “Ruído na Cidade do Porto” e pretende caracterizar, em termos geográficos, históricos e sociais, a cidade alvo de análise, bem como descrever os dados e estudos realizados previamente, relativos a análises de ruído e a outros parâmetros associados.

A cidade é um espaço em mudança e passados aproximadamente vinte anos é normal que existam alterações. No capítulo 5, “Medições e Análise de Resultados”, é feita a descrição dos locais de estudo para dar a possibilidade de em situações futuras se poder proceder a análises de causa-efeito perante as alterações encontradas em campo e nos valores medidos. Neste mesmo capítulo procede-se à apresentação, comparação, análise e discussão dos resultados obtidos, donde se espera tirar conclusões sobre o modo como o ruído está presente na cidade do Porto e evoluiu ao longo do espaço de tempo estudado.

O capítulo 5 subdivide-se em seis grandes subcapítulos que dizem respeito aos casos de estudo seguidos neste trabalho. Estes passam: pelo estudo da evolução do ruído no centro da cidade do Porto, descrito no parágrafo anterior; pelo estudo da evolução do ruído na VCI; pelo estudo do impacto que o Túnel de Ceuta tem no ruído; pelo estudo do impacto do Metro do Porto no ruído; pelo estudo do ruído proporcionado por causas de origem natural; e finalmente pelo estudo do ruído proporcionado pelos espaços de divertimento nocturno no centro do Porto.

Para terminar encontra-se o capítulo 6 “Conclusões e desenvolvimentos futuros”, onde após uma breve reflexão sobre os resultados conseguidos se faz a apresentação de futuros desenvolvimentos que se podem efectuar sobre este tema.

2

CONCEITOS TEÓRICOS E FUNDAMENTOS

2.1. A ACÚSTICA E O RUÍDO

A Acústica pode ser definida como uma ciência que se ocupa “da geração, transmissão e recepção de energia na forma de ondas vibracionais através da matéria” [3].

Esta ciência revê-se na audição, onde as ondas sonoras, criadas a partir duma fonte por alteração da pressão atmosférica, se transmitem ao longo do tempo pelas partículas do ar (como se observa na figura 2.1) e são captadas no aparelho auditivo através do qual chegam ao cérebro onde são interpretadas.

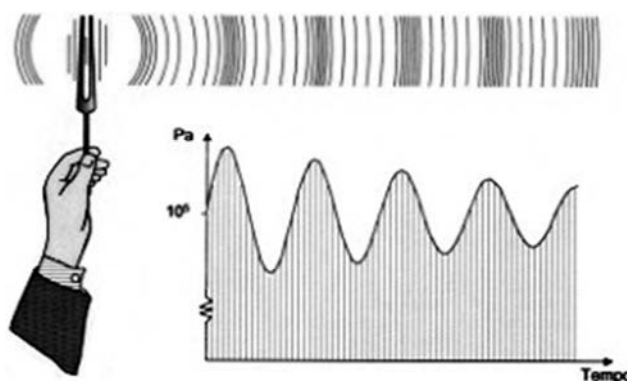


Fig. 2.1: Propagação do ruído através da alteração da pressão atmosférica ao longo do tempo [4].

As variações da pressão, conforme a interpretação no cérebro, são designadas de som, se tiverem sentido ou forem agradáveis, ou ruído se pelo contrário não tiverem significado ou forem incomodativas [5].

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO

2.2.1. PRESSÃO SONORA E DECIBEL

A pressão sonora, cuja unidade é o pascal (Pa), define-se como a diferença entre a pressão sonora instantânea e a pressão atmosférica (≈ 101400 Pa), tal como se observa na figura 2.2.

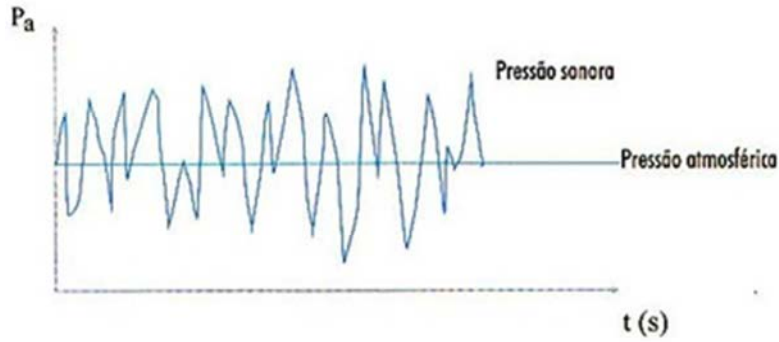


Fig. 2.2: Variações na pressão atmosférica provocada por vibrações sonoras [6]

O ouvido humano possui uma sensibilidade muito elevada à pressão sonora uma vez que a relação entre a pressão sonora de um som que cause dor e um som que seja audível é da ordem de 1000 000 [5]. A figura 2.3 apresenta os limites e respectivos valores da sensibilidade do ouvido humano ao ruído.



Fig. 2.3: Limite de sensibilidade do ouvido humano para o ruído [5].

Uma variabilidade tão elevada torna vantajoso o recurso a uma expressão matemática que converte a escala linear de pressão sonora em pascal (Pa) numa escala logarítmica de nível de pressão sonora em decibel (dB), como se pode ver na expressão 2.1:

$$L_p = 10 \times \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \times \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (2.1)$$

Nesta expressão L_p designa o nível de pressão sonora em dB, p a pressão sonora em Pa e p_0 a pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pa), próxima do limiar mínimo de audição [5].

A figura 2.4 representa e compara as duas escalas referidas para diferentes ambientes e fontes sonoras. Para o limiar da dor que na escala linear é de 20 Pa (ou 20×10^6 μ Pa) corresponde um valor de 120 dB na escala logarítmica, e para o limite mínimo de audição de 20 μ Pa corresponde 0 dB.

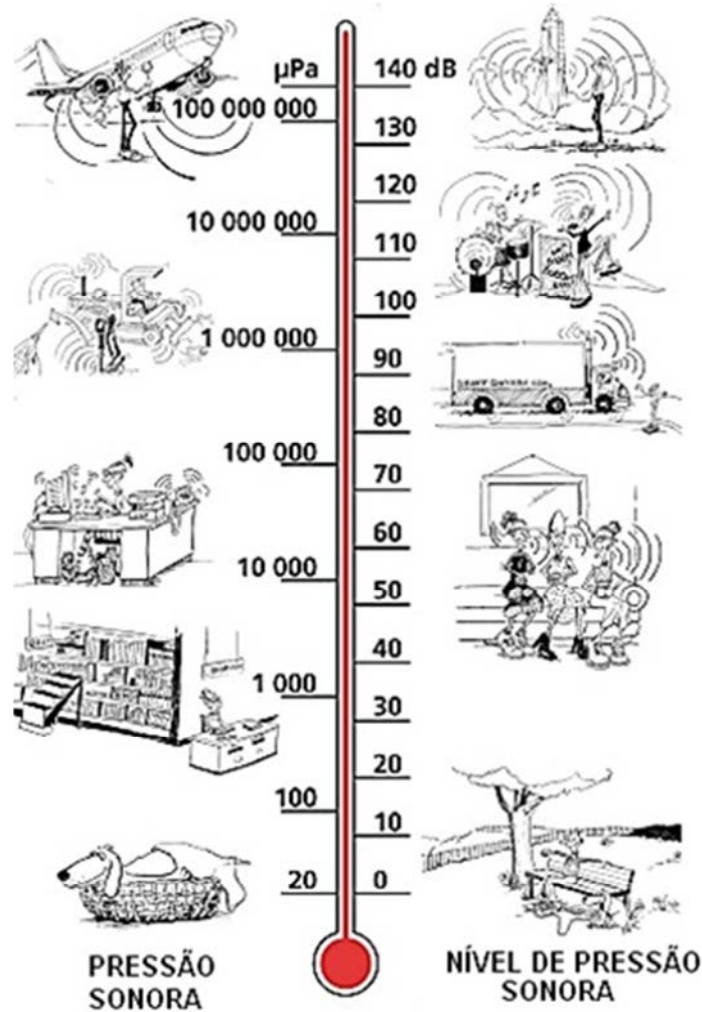


Fig. 2.4: Valores da amplitude das ondas sonoras medida na escala linear (Pa) e logarítmica (dB), para diferentes tipos de fontes sonoras [7].

O decibel apresenta algumas propriedades que interessa esclarecer. A soma de sons ou ruídos com níveis de pressão igual não equivale à soma dos seus valores algébricos. Por se tratar de valores corrigidos para uma escala logarítmica de facto a soma de sons com níveis de pressão igual equivale a somar 3 dB ao som inicial.

Para níveis de pressão diferentes, se o valor mais elevado for superior em pelo menos cerca de 10 dB, a soma é aproximadamente igual ao maior valor [8].

Para as situações genéricas onde existem n níveis, deve-se aplicar a expressão 2.2:

$$L_{Total} = 10 \times \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.2)$$

2.2.2. FREQUÊNCIA E CURVA DE PONDERAÇÃO

O segundo elemento que caracteriza o ruído é a frequência. A frequência mede-se em hertz (Hz) e representa o número de ciclos ou de flutuações completas da pressão por segundo. O Homem consegue ouvir entre os 20 Hz e os 20 kHz. Sons de frequência inferior são designados por infra-sons e os superiores por ultra-sons. Com o tempo o ser humano tende a perder a capacidade de ouvir as altas frequências [8].

Na figura 2.5 representam-se os limites e as designações das gamas de frequências para o ser humano.

Uma vez que o ouvido humano não tem sensibilidade aos infra e ultra-sons, existe a necessidade de corrigir os valores do nível de pressão sonora medidos pelos aparelhos (sonómetros). Para tal existe a curva de ponderação “A” que penaliza as frequências de acordo com o campo de audição do Homem. Em termos de nomenclatura passa-se a designar o valor do nível de pressão sonora por nível sonoro (L_A) e a unidade passa a ser dB(A) [9].

Existem outras curvas de ponderação (ou filtros) adequadas a outras utilizações e que estão representados na figura 2.6, onde se destaca a curva de ponderação A, a azul.

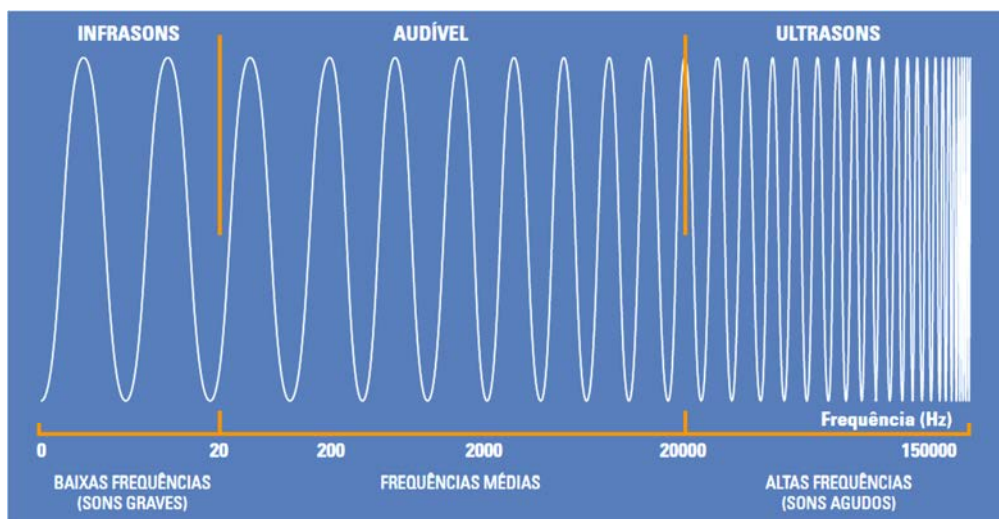


Fig. 2.5: Gamas de frequências (humanos) [5].

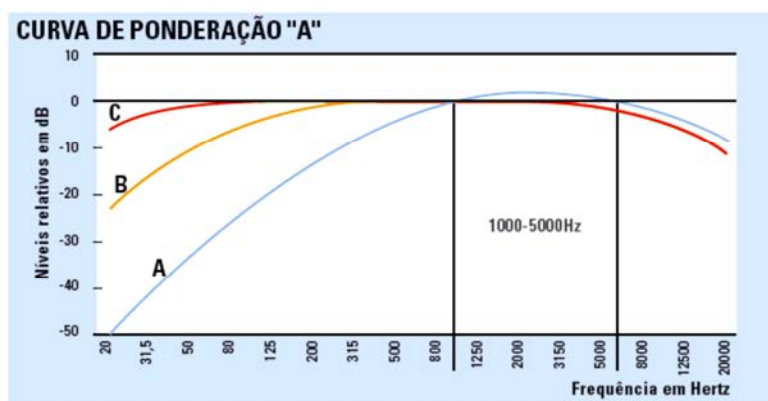


Fig. 2.6: Descrição das curvas de ponderação A, B e C [5].

De forma a facilitar o seu tratamento, as frequências são analisadas por bandas. As bandas são agrupamentos de frequências e tomam a designação da sua frequência central, podendo ter diferentes larguras (as mais usadas são as de 1/1 oitava e 1/3 oitava).

O quadro 2.1 apresenta os valores numéricos das ponderações da curva A para bandas de frequência de 1/1 oitava na gama do audível.

Quadro 2.1: Valores numéricos das ponderações da curva A para bandas de 1/1 oitava na gama do audível [8].

Banda de Frequência (Hz)	Ponderação A para 1/1 oitava
31	-40
63	-26
125	-15,5
250	-8,5
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1
8000	-1
16000	-7

2.2.3. ANÁLISE NO TEMPO

O ruído varia ao longo do tempo, e como tal não se pode basear em valores instantâneos para o caracterizar. As variações no nível de pressão sonora são muito amplas, sendo necessário recorrer a descritores estatísticos e/ou energéticos para avaliar no tempo um acontecimento acústico.

O principal parâmetro descritor energético é o “nível de pressão sonora contínua equivalente” L_{eq} que se define como o nível que se actuasse constante num dado intervalo de tempo (T), produziria a mesma energia que o som que se pretende avaliar [8]. Este parâmetro é determinado pelas seguintes expressões:

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)^2}{p_0^2} \right) dt \quad (2.3)$$

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{t=1}^N t_i \cdot 10^{L_i/10} \right] \quad (2.4)$$

Na expressão 2.4, L_i é o nível de pressão sonora uniforme durante o tempo t_i e $T = \sum t_i$.

Os parâmetros estatísticos estão associados a percentis de densidade de probabilidade, sendo que L_n designa neste caso o nível que num dado intervalo de tempo é excedido em $n\%$ da duração temporal desse intervalo [8].

Destacam-se os parâmetros estatísticos que se seguem pela importância que vão apresentar para o presente trabalho:

- L_{A10} – nível sonoro (dB) que é excedido em 10% do tempo de medição. Valor representativo do ruído de ponta.
- L_{A50} – nível sonoro (dB) que é excedido em 50% do tempo de medição. Valor representativo do ruído “médio”.
- L_{A90} – nível sonoro (dB) que é excedido em 90% do tempo de medição. Valor representativo do ruído de fundo.

A figura 2.7 permite comparar as diferenças entre três desses parâmetros.

Para o período de tempo compreendido entre t_1 e t_2 , verifica-se que o L_{95} apresenta, como esperado, o nível de pressão sonora mais baixo. Por esse motivo, os parâmetros estatísticos elevados são muitas vezes utilizados para caracterizar o ruído de fundo existente num dado ambiente.

O L_{50} e o L_{eq} apresentam valores mais próximos, sendo que o primeiro pode ser entendido como a mediana e o segundo como a média dos níveis de pressão sonora medidos num dado intervalo de tempo.

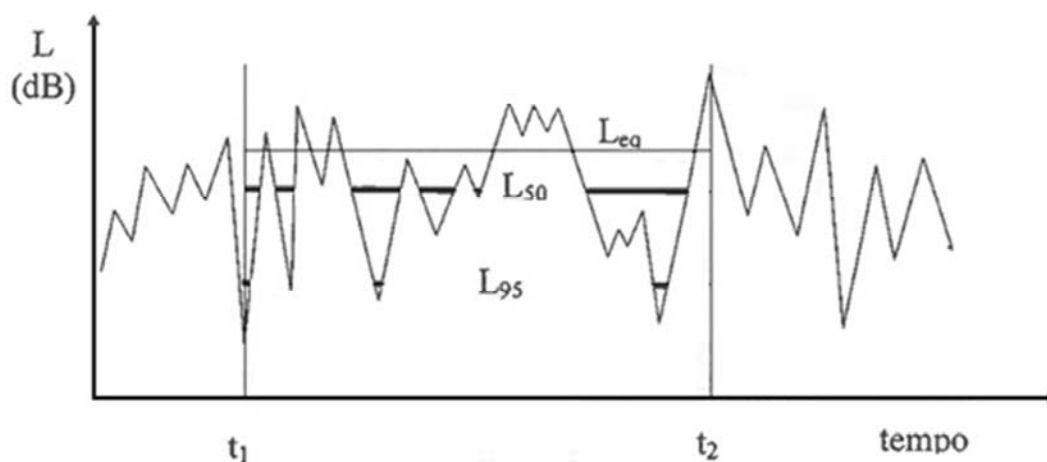


Fig. 2.7: Diferenças entre L_{50} , L_{95} e L_{eq} [8].

2.3. FONTES SONORAS

2.3.1. CARACTERÍSTICAS DAS FONTES SONORAS

As fontes sonoras constituem o centro de propagação, a partir do qual o som se alastra sob a forma de ondas esféricas concêntricas. O estímulo sonoro consiste na vibração de um meio elástico, como as cordas vocais, o diapasão, o diafragma de um altifalante, entre outros.

Uma característica importante da fonte é a potência sonora (W). Esta pode-se definir como sendo a energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte e quantifica-se em watt (W). Uma grandeza relacionada com a potência sonora é a

intensidade sonora (I), que representa a quantidade de energia que atravessa perpendicularmente uma área unitária por segundo numa dada direcção, e que se quantifica em W/m^2 [8].

A pressão sonora (p), como resultado do estímulo e não como fonte, relaciona-se com as duas propriedades anteriores através da expressão 2.5:

$$I = \frac{W}{4\pi \cdot r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.5)$$

Nesta expressão, r representa a distância à fonte em metros (m), ρ a massa volúmica do ar ($\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$) e c a celeridade em m/s.

A celeridade é a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar e é dependente da temperatura, tal como demonstra a expressão 2.6:

$$c = 20,045\sqrt{T} = 20,045\sqrt{273,15 + \theta} \quad (2.6)$$

A temperatura T é medida em graus kelvin, podendo-se adaptar para graus celsius (θ) como demonstra a segunda parcela da expressão.

No ar a velocidade de propagação do som tem um valor aproximado de 340 m/s (admitindo uma temperatura de cerca de 15°C). Para outros meios de propagação a velocidade pode tomar os seguintes valores [6]:

- Água = 1460 m/s;
- Madeira = 1000 a 4960 m/s;
- Cimento = 4000 m/s;
- Aço = 4700 a 5150 m/s;
- Vidro = 5000 a 6000 m/s.

2.3.2. TIPOS DE FONTES E DE RUÍDO

2.3.2.1. Fontes Pontuais versus Fontes Lineares

Dentro das fontes existentes destacam-se para o presente trabalho as fontes de ruído, que se centram nas acções, actividades permanentes ou temporárias, equipamentos, estruturas ou infra-estruturas que produzem ruído nocivo ou incomodativo para quem habita ou permanece em locais onde se sente o seu efeito.

As fontes podem ser caracterizadas como pontuais ou lineares. Se para uma certa distância a dimensão da fonte sonora relativamente ao receptor se assemelha a um ponto, então diz-se que é uma fonte pontual. Quando a origem do som se assemelha a uma linha está-se perante uma fonte linear. Exemplos destas fontes podem ser os automóveis que individualmente podem ser considerados fontes pontuais, mas no seu conjunto ao longo de uma estrada com intenso tráfego, se assemelham a uma fonte linear [9].

Existem outros factores que têm influência na forma como o som se transmite nestas situações que são abordados no ponto 2.4.

2.3.2.2. Tipos de Ruídos

Dependendo da duração e da sua fonte podem surgir três tipos de ruídos: contínuos, intermitentes ou impulsivos.

Os ruídos contínuos são os produzidos por exemplo pelas máquinas que trabalham ininterruptamente no mesmo tom. Os intermitentes são os resultantes de máquinas que trabalham por ciclos ou os resultantes de veículos ou aviões que passam (nestes o nível sonoro aumenta e decresce rapidamente). Um ruído impulsivo é o resultante de um impacto ou de uma explosão [7].

A figura 2.8 é ilustrativa destes três tipos de ruído e permitem comparar os diagramas com a variação do nível de pressão sonora nas ordenadas em função do tempo nas abcissas.

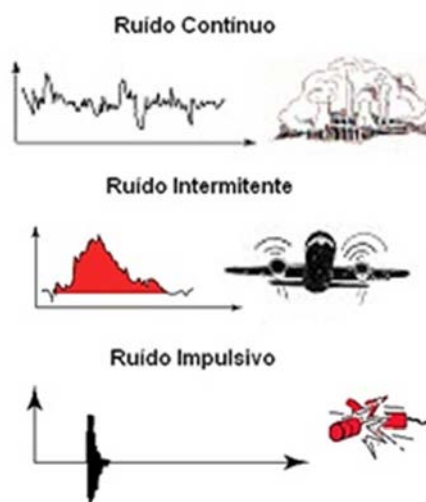


Fig. 2.8: Tipos de ruídos resultantes de diferentes fontes sonoras [adaptado de 7].

Além das designações referidas existem outras respeitantes a outros tipos de ruídos que se passam a apontar [9]:

- Ruído aéreo – ruído de uma fonte que emite e se propaga através do ar;
- Ruído ambiente – ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado;
- Ruído de rolamento – ruído gerado pelo contacto entre os pneus de um veículo e o revestimento de um pavimento rodoviário;
- Ruído de vizinhança – ruído associado ao uso habitacional e às actividades que lhe são inerentes, produzido directamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal colocado sob a sua responsabilidade, que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja susceptível de afectar a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança;
- Ruído emergente – termo utilizado sempre que o nível sonoro de um ruído específico é significativamente superior ao ruído de fundo;
- Ruído particular – componente do ruído ambiente que pode ser especificamente identificada por meios acústicos e atribuída a uma determinada fonte sonora;
- Ruído residual – ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares, para uma determinada situação.

2.4. PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

Desde a formação do ruído até à sua percepção existem diferentes factores que intervêm e influenciam a forma como este se propaga.

Dos factores que interferem na sua proliferação o que se destaca é a distância, sendo que com o seu aumento diminui o ruído que o receptor percebe.

O facto de a fonte ser pontual ou linear tem repercussões neste decréscimo. Devido às suas características as fontes pontuais radiam energia em todas as direcções de forma idêntica, como ondas esféricas, e a atenuação do ruído que se verifica com a duplicação da distância à fonte é de 6 dB(A). Já para as fontes lineares o ruído propaga-se em ondas cilíndricas e a atenuação é metade das fontes pontuais, ou seja 3 dB(A), com a duplicação da distância à fonte [5].

As situações descritas estão representadas na fig. 2.9.

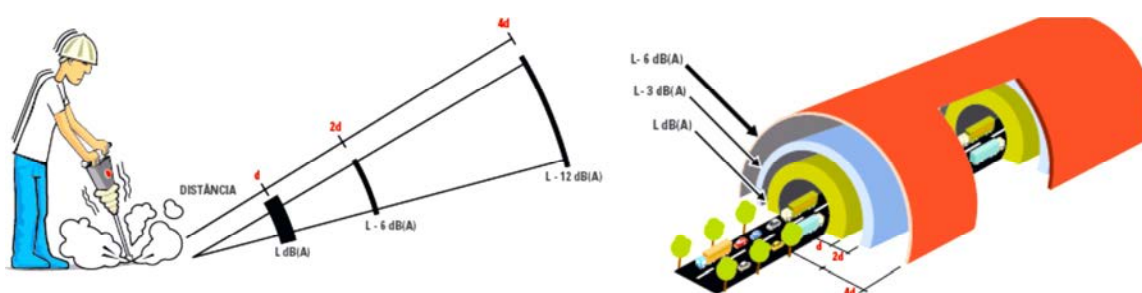


Fig. 2.9: Atenuação do ruído com a duplicação da distância numa fonte pontual (esquerda) e linear (direita) [4].

As propriedades do solo também influenciam a propagação do ruído, principalmente devido ao atrito dessa superfície.

Nos locais em que existem solos cultivados ou florestas e em que por isso se verifica maior absorção do ruído, este propaga-se com maior dificuldade. Já para zonas em que o solo é reflector, como os pavimentos das ruas e dos passeios da maior parte das cidades, a propagação é facilitada e o nível de pressão sonora pode aumentar até 3 dB [8].

Outros factores que interferem na propagação do ruído são a absorção atmosférica, a morfologia (vegetação, zona industrial, etc.), a altimetria do terreno e as condições meteorológicas (direcção e velocidade do vento, variações de temperatura e humidade relativa do ar).

Como se viu na expressão 2.6 a celeridade varia com a temperatura, daí que os gradientes verticais de temperatura gerem alterações na forma como o ruído se propaga (fig. 2.10).

Quando a temperatura aumenta em altura o gradiente é positivo, o que resulta em ondas sonoras que sofrem difracção para baixo provocando aumento sonoro junto ao solo. No caso de a temperatura diminuir em altura o gradiente é negativo, o que resulta na diminuição do nível sonoro junto ao solo com criação de zonas de sombra [8].

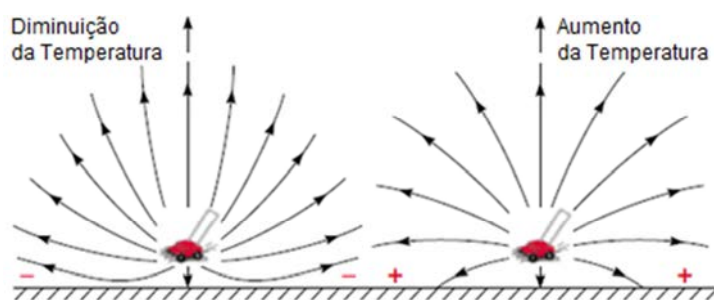


Fig. 2.10: Efeito da variação da temperatura com a altura, na propagação do ruído [adaptado de 7].

A velocidade do vento geralmente aumenta com a altitude (fig. 2.11). Se o vento soprar da fonte sonora para o receptor encurvará as ondas para baixo com aumento do nível sonoro. Caso o vento sopra do receptor para a fonte sonora, existe encurvamento para cima e o nível sonoro reduz-se com criação de zonas de sombra [8].

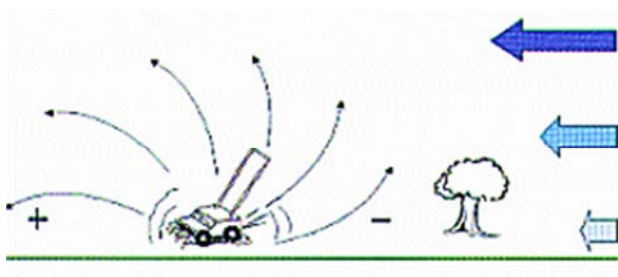


Fig. 2.11: Efeito da variação da velocidade do vento com a altura na propagação do ruído [7].

Os dois efeitos referidos só têm significado para distâncias superiores a 100 m. Os níveis de pressão sonora podem variar entre -7 dB e + 12 dB [8].

Os obstáculos podem ser úteis para travar ou dificultar a disseminação do ruído. De facto, tal como se pode observar na fig. 2.12, quando as ondas sonoras o atingem, parte da energia destas é reflectida e outra parte é absorvida, dissipando-se sob a forma de calor, ou transmitindo-se através do obstáculo.

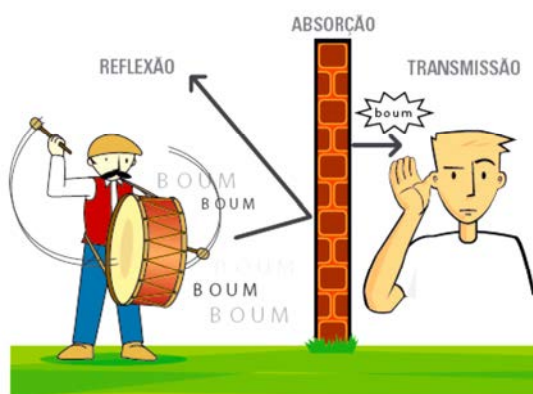


Fig. 2.12: Efeito dos obstáculos sobre a propagação do ruído [5].

A colocação de barreiras acústicas pode ter efeitos contrários ao desejado, uma vez que a reflexão do ruído pode afectar as habitações que estejam nesse lado emissor da barreira.

Vários materiais podem ser utilizados nas barreiras: blocos de betão, betão pré-fabricado, béton bois (betão mais madeira), madeira, bermas de terra, pvc reciclado, acrílico, painéis metálicos, argila, etc.

Algumas propriedades devem ser garantidas para assegurar a funcionalidade das barreiras acústicas [8]:

- Em termos estruturais – Devem resistir ao peso próprio, ao vento, a sismos, etc. Devem existir acessos quando necessário e devem garantir o escoamento de água. Não devem possuir espaços de ar nas juntas dos painéis com os pilares e com o solo.
- Em termos de segurança – Devem estar bem fixas para evitar quedas de painéis. Deve-se ter em atenção a possibilidade de embate de animais. As extremidades devem estar protegidas por causa de possíveis embates.
- Em termos de manutenção – Deve-se garantir a possibilidade de limpeza e manutenção, nomeadamente no que diz respeito aos grafites, à vegetação e ao lixo.
- Em termos de aparência visual – Deve-se ter em atenção ambas as faces e deve-se tomar medidas que diminuam o impacto visual com curvas ou terminações graduais.

O ruído pode passar de uma forma indirecta pela parte superior ou pelas extremidades laterais das barreiras. A este processo chama-se difracção nos bordos e pode-se observar na representação esquemática da fig. 2.13.

Embora o ruído tenha que percorrer uma distância maior, e como tal o nível sonoro seja menor, de facto a sua presença pode continuar a ser incomodativa nestes casos.

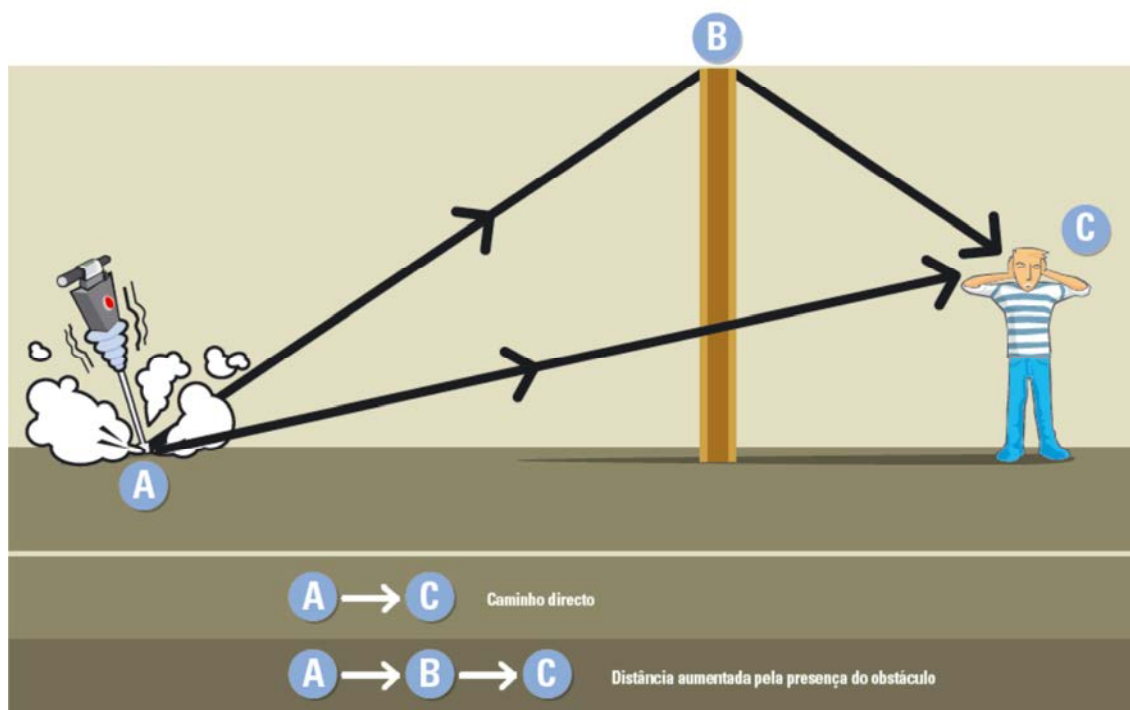


Fig. 2.13: Difracção do ruído nos bordos de uma barreira acústica [5].

2.5. INCOMODIDADE

2.5.1. DADOS SOBRE A INCOMODIDADE

O interesse mostrado no estudo do ruído prende-se no facto de este se apresentar incomodativo para as pessoas. Tal como se disse no primeiro ponto deste capítulo, a noção de ruído resulta da interpretação que se faz sobre um determinado som, o que torna muito subjectiva a classificação entre agradável e desagradável.

Existem muitas situações que podem resultar na sensação de incomodidade. Nas cidades em geral, o ruído da circulação rodoviária é apontado como aquele que provoca incomodidade num maior número de pessoas, e que prende-se normalmente ao longo dos grandes eixos de circulação rodoviária.

Em 1996, a ex-Direcção Geral do Ambiente publicou o documento "Ruído Ambiente em Portugal" [10], onde é apresentado um primeiro estudo global sobre a exposição ao ruído da população portuguesa.

Neste verifica-se que 19% da população portuguesa (1,8 milhões de habitantes) residia em locais com níveis sonoros superiores a 65 dB(A), e que as situações mais gravosas surgiam nas imediações das principais vias de tráfego rodoviário ou nos grandes centros urbanos e respectivas periferias e em particular na região de Lisboa. Esta situação era desaconselhável face aos critérios de qualidade aceites, exigindo acção correctiva. Estimava-se então, que apenas 43% da população usufruía de conforto acústico nos seus locais de residência.

Também a Comissão Europeia apresentou em 1996, no "Green Paper" [11], alguns resultados para a União Europeia.

Apontava-se que cerca de 20% da população (80 milhões de pessoas) encontrava-se exposta, durante o dia e no exterior, a níveis sonoros inaceitáveis que se situam acima dos 65 dB(A), e que são provenientes dos meios de transporte. Existiam igualmente 170 milhões de habitantes a viver em "zonas cinzentas", que são zonas onde aparentemente se verifica um crescimento rápido do volume de tráfego. Estas encontram-se expostas a níveis sonoros, durante o dia, compreendidos entre os 55 e os 65 dB(A), valor a partir do qual as pessoas começam a sentir-se seriamente incomodadas.

O ruído proveniente do tráfego rodoviário era o responsável pelo facto de 19 % da população da União Europeia se encontrar exposta a níveis sonoros superiores a 65 dB(A). Para os outros meios de transporte, as percentagens de habitantes afectados eram de 1,7% para os caminhos-de-ferro e 1% para os transportes aéreos.

2.5.2. EFEITOS NA SAÚDE

Os níveis de pressão sonora do ruído podem não ser susceptíveis de deteriorar o sistema auditivo humano, mas as consequências a nível de saúde são indiscutíveis (fig. 2.14).

Os efeitos do ruído na saúde podem ser de três tipos: físicos, fisiológicos e psicológicos.

Quando se verificam alterações nas propriedades físicas do sistema auditivo, diz-se que se está perante um efeito físico. Este apresenta-se sob a forma de perdas auditivas que podem ser temporárias ou permanentes. As permanentes verificam-se mais nos trabalhadores do ramo industrial em que as pessoas estão expostas de forma contínua a níveis sonoros elevados.

Os efeitos fisiológicos prendem-se nas alterações verificadas na actividade do corpo humano, como alterações da pressão sanguínea, do ritmo cardíaco, do ritmo respiratório e tensões musculares.

A nível psicológico encontram-se as alterações no comportamento, onde se inscrevem a irritabilidade, o stress, a fadiga e a diminuição da capacidade de concentração [5].

Aponta-se em geral que existe a capacidade do ser humano se adaptar às alterações provocadas pelo ruído, o que de certa forma se comprova pelos efeitos descritos anteriormente e que se traduzem nos malefícios para a saúde e qualidade de vida das pessoas.

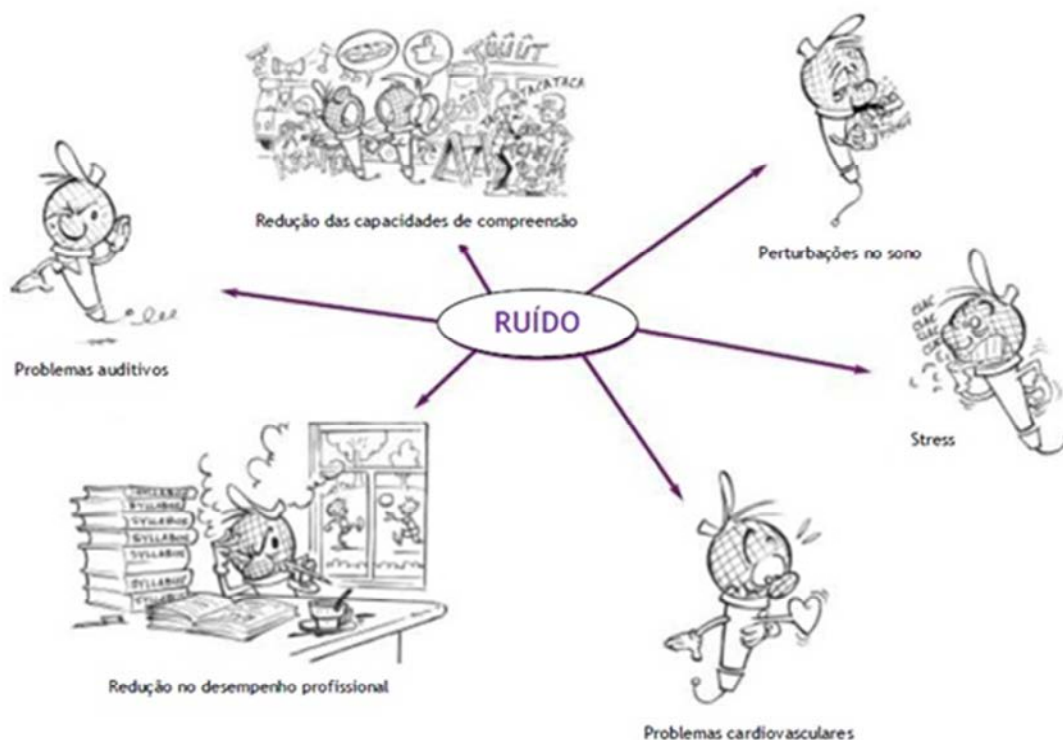


Fig. 2.14: Efeitos genéricos do ruído na saúde das pessoas [9].

2.5.3. REGULAMENTAÇÃO

2.5.3.1. Regulamento Geral do Ruído (RGR 2007)

A avaliação da incomodidade sonora é abordada no Decreto-lei n.º 9/ 2007: Regulamento Geral do Ruído (RGR) [12].

Este regulamento aplica-se às “*actividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído susceptíveis de causar incomodidade*”, como: construção, estabelecimentos industriais, estabelecimentos comerciais, equipamentos e infra-estruturas, etc.

Em ordem a actuar perante estas actividades, o RGR estipula que os municípios são responsáveis pela elaboração de planos municipais de ordenamento do território que assegurem a qualidade do ambiente sonoro onde se procede “*à classificação, delimitação e à disciplina de zonas sensíveis e de zonas mistas*”[12].

a) Critério de Exposição

As câmaras municipais elaboram mapas de ruído, tendo por base informação acústica obtida por técnicas de modelação apropriadas ou por recolha de dados acústicos, para os indicadores L_{den} e L_n reportados a uma altura 4 m acima do solo.

O indicador de ruído é um “*parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano*”.

O indicador obtém-se com metodologia da norma NP 1730-1 [13] e da NP ISO 1996 (parte 1 e 2) [14, 15] e pode ser do tipo:

- Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den});
- Indicador de ruído diurno (L_d , L_{day} ou L_{diurno});
- Indicador de ruído do entardecer (L_e , $L_{evening}$ ou $L_{entardecer}$);
- Indicador de ruído nocturno (L_n , L_{night} ou $L_{nocturno}$).

O valor de L_{den} é dado pela expressão 2.7:

$$L_{den} = 10 \times \log \left[\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{L_d/10} + 3 \times 10^{(L_e+5)/10} + 8 \times 10^{(L_n+10)/10} \right) \right] \quad (2.7)$$

O período de referência constante nos indicadores é respeitante ao intervalo de tempo a que se refere o indicador de ruído, de modo a abranger as actividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos:

- Período diurno – das 7 às 20 horas;
- Período do entardecer – das 20 às 23 horas;
- Período nocturno – das 23 às 7 horas.

Uma zona sensível diz respeito a uma “*área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional sem funcionamento no período nocturno*” [12]. As zonas mistas são zonas afectas a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na zona sensível.

Os valores limite de exposição (critério de exposição) definidos no RGR de 2007, em função da classificação em zona mista ou sensível e da proximidade de uma grande infra-estrutura de transporte (GIT), são os constantes no quadro 2.2.

As infra-estruturas de transporte são “*instalações e meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário*” [12]. A designação de GIT é respeitante às situações em que:

- Transporte aéreo – tráfego superior a 50 000 movimentos por ano;
- Transporte ferroviário – tráfego superior de 30 000 passagens de comboios por ano;
- Transporte rodoviário – tráfego superior a três milhões de passagens de veículos por ano.

Quadro 2.2: Valores limite máximos de exposição de acordo como o RGR 2007, em função da classificação da zona [8].

Classificação de zonas	Lden dB(A)	Ln dB(A)
Zonas mistas	65	55
Zonas sensíveis	55	45
Zonas sensíveis na proximidade de GIT existente	65	55
Zonas sensíveis na proximidade de GIT não aéreo em projecto	60	50
Zonas sensíveis na proximidade de GIT aéreo em projecto	65	55
Receptores sensíveis em zonas não classificadas	63	53

GIT – Grandes Infra-estruturas de Transporte (> 3 milhões veíc. rod.; > 50.000 aviões; >30.000 comboios /ano)

b) Critério de Incomodidade

No que diz respeito às actividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos receptores sensíveis isolados, de acordo com o artigo 13º do RGR além de se cumprir os limites constantes no quadro 2, deve-se cumprir o chamado “critério de incomodidade”.

O seu valor é obtido pela “diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual” [12].

O ruído particular é o ruído ambiente medido com a fonte perturbadora e o ruído residual é o ruído ambiente medido sem a dita fonte sonora perturbadora. Este critério apenas se aplica se o L_{Aeq} ruído particular for superior a 27 dB no interior e 45 dB no exterior.

O valor do critério de incomodidade não pode exceder 5 dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do entardecer e 3 dB(A) no período nocturno, tal como se pode observar na expressão 2.8:

$$(L_{Aeq\text{ruído particular}} + K_{\text{tonal}} + K_{\text{impulsivo}}) - L_{Aeq\text{ruído residual}} \leq 3 (4 \text{ ou } 5) + D \quad (2.8)$$

O parâmetro D tem os valores constantes no quadro 2.3 que variam entre 0 e 4 dB(A). Estes são escolhidos em função da percentagem q do tempo de emergência do ruído perturbador, que se refere à relação percentual entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência em causa.

As constantes K são penalizações que tomam o valor de 3 dB(A).

Para o K_{tonal} , isto acontece sempre que uma banda de 1/3 de oitava sobressair em pelo menos 5 dB em relação às duas bandas adjacentes, na gama dos 50 Hz aos 8000 Hz e avaliado com filtro A.

O $K_{\text{impulsivo}}$ tem igual valor quando o resultado da subtracção do L_{Aeq} medido em resposta *Impulsive* com o L_{Aeq} em resposta *Fast*¹ for superior a 6 dB.

Medidas devem ser tomadas caso estes valores sejam excedidos, actuando segundo a seguinte ordem:

- i. Na fonte;
- ii. No meio de propagação do ruído;
- iii. No receptor sensível.

Quadro 2.3: Valores de D em função da percentagem de tempo de emergência, q [8].

Períodos	Diurno e/ou Entardecer	Nocturno até às 24h	Nocturno depois das 24h
Tempo de emergência	D dB(A)		
$q \leq 12,5\%$	4	3	2
$12,5\% < q \leq 25\%$	3	Não possível	2
$25\% < q \leq 50\%$	2	Não possível	2
$50\% < q \leq 75\%$	1	Não possível	1
$q > 75\%$	0	Não possível	0

2.5.3.2. Regulamentos Anteriores

O regulamento descrito anteriormente só entrou em vigor em 2007, o que deixa em questão os limites impostos nos períodos anteriores, nomeadamente desde 1990, ano de comparação para as medições realizadas neste trabalho.

Em 1990 estava em vigor o Regulamento Geral sobre o Ruído de 1987 (DL 251/87 de 24 de Junho) [16]. Ainda antes de 2007, o RGR foi substituído em 2000 pelo DL 292/2000 de 14 de Novembro, onde também se passa a chamar Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS) [17] por forma a salientar a reforma legal sobre a poluição sonora e a imposição da prestação de caução aos agentes económicos que desenvolvam actividades potencialmente ruidosas. Em 2002 são feitas algumas alterações ao RGR de 2000 com o DL 259/2002, de 23 de Novembro [18].

O RGR de 1987, nos artigos 4º e 5º estabelece uma classificação dos locais para a implantação de edifícios (quadro 2.4), impedindo a fixação de novas zonas residenciais, escolas e hospitais em zonas ruidosas e muito ruidosas.

Para os regulamentos que se seguiram em 2000 e 2002, o parâmetro L_{A50} é substituído pelo L_{Aeq} . Os períodos de referência mantêm-se iguais aos definidos no quadro 2.4, sendo o período diurno das 7 às 22 horas e o nocturno das 22 às 7 horas e as zonas passam a ser duas com a designação de sensíveis e mistas. No quadro 2.5 estão descritos os limites do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, definidos para estas zonas.

¹ Ver no subcapítulo 3.3, na parte respeitante aos sonómetros, o significado de uma resposta *Impulsive* ou *Fast*.

Quadro 2.4: Classificação dos locais para implantação dos edifícios de acordo com o RGR de 1987 [10].

Classificação	Características
Locais com os níveis sonoros:	
Locais pouco ruidosos	$L_{A50} \leq 65$ dB entre as 7 e 22 horas, e $L_{A50} \leq 55$ dB entre as 22 e 7 horas.
Locais ruidosos	Locais que não estão contemplados nos locais pouco ruidosos e com os níveis sonoros: $L_{A50} \leq 75$ dB entre as 7 e 22 horas, e $L_{A50} \leq 65$ dB entre as 22 e 7 horas.
Locais muito ruidosos	Locais não contemplados nos locais pouco ruidosos e ruidosos.

Quadro 2.5: Valores limite de exposição de acordo como o RGR 2002, em função da classificação da zona [18].

Classificação	L_{Aeq}	
	Período Diurno	Período Nocturno
Zona Sensível	≤ 55 dB	≤ 45 dB
Zona Mista	≤ 65 dB	≤ 55 dB

2.6. CONTROLO DO RUÍDO

2.6.1. ACTUAÇÃO NO RUÍDO PROVENIENTE DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

A principal fonte de ruído no meio urbano resulta do tráfego rodoviário. As autarquias são fundamentais na gestão do tráfego, devendo tomar medidas que favoreçam as deslocações em transportes públicos em detrimento dos transportes motorizados particulares.

As fontes de ruído mais importantes para os veículos rodoviários são: a exaustão do motor e entrada de ar, a radiação do motor, a ventilação e equipamentos auxiliares, a interacção pneus-estrada e o ruído aerodinâmico. O ruído resultante varia em função do tipo de veículo (fig. 2.15), carga e tipo de movimento (velocidade, aceleração, ângulo da estrada, tipo de piso, etc.) [8].

Existe um conjunto de medidas que podem ser implementadas para diminuir o ruído ao nível dos veículos e da sua circulação no meio urbano [5]:

- Incentivar a utilização de transportes não motorizados, como as bicicletas, através da criação de corredores específicos para velocípedes e da disponibilização de áreas de estacionamento público para os mesmos;
- Garantir estacionamentos adequados para libertar a cidade dos veículos ligeiros particulares;
- Interditar a circulação em certas zonas, em especial a de veículos pesados para determinados períodos do dia;

- Limitar a velocidade de circulação, o que pode permitir uma redução até cerca de 6 a 8 dB(A) mantendo inalterado o volume de tráfego;
- Reforço do transporte público diminuindo o número de veículos ligeiros e diminuindo as áreas afectadas (uma vez que os veículos colectivos circulam por vias limitadas);
- Adopção de planos de circulação, onde se procurem soluções que facilitem a circulação rodoviária, oferecendo desvios de tráfego em ruas que não oferecem condições de circulação.

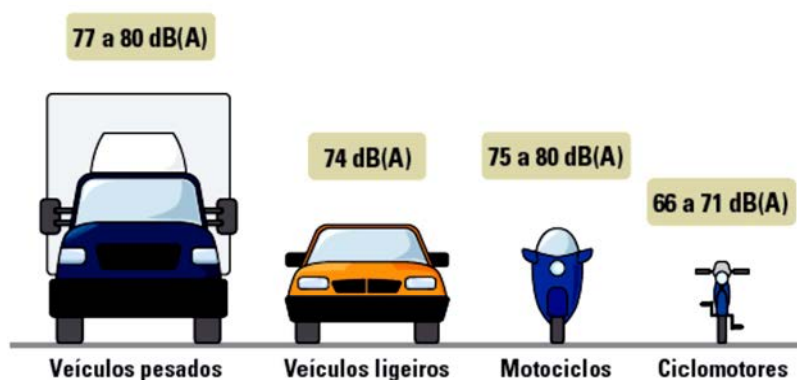


Fig. 2.15: Níveis sonoros máximos admissíveis à saída da fábrica para os diferentes veículos motorizados [5].

Além destas podem ser implementadas outras medidas relativas às estradas e ao seu traçado [5]:

- Criação de passagens desniveladas (desde que não impliquem acessos com grandes declives) o que possibilita o fluir livre do trânsito, reduzindo o ruído gerado pelas acelerações e travagens dos veículos nos semáforos sem diminuir o volume de tráfego;
- A adopção de características geométricas em prol dos traçados planos com curvas homogêneas, o que facilita a circulação dos veículos e reduz o ruído emitido;
- Evitar declives acentuados (a partir das inclinações com 2%, por cada 1% de aumento do declive o nível de pressão sonora aumenta cerca de 1 dB(A));
- A utilização de barreiras acústicas naturais (aterros, taludes da própria estrada, etc.) ou armazéns;
- A utilização de pisos com características de absorção acústica, o que face ao betuminoso convencional pode gerar reduções na emissão do ruído de tráfego rodoviário entre os 3 e os 5 dB(A);
- A utilização de coberturas totais (túnel) ou parciais, o que pode originar reduções do nível sonoro até 20 dB(A).

As barreiras podem tomar diferentes soluções, como se observa na fig. 2.16. As soluções adoptadas podem passar ainda pela aplicação de pégolas, faixas envidraçadas, etc.

Para que a barreira seja eficaz, esta deve estender-se pelo menos 150 metros para cada um dos lados do receptor a proteger, ou seja deve cobrir 80 a 90 % da fonte sonora (fig. 2.17). No que diz respeito às coberturas, estas podem ser dos tipos constantes nas figuras 2.18 à 2.20 e devem ser aplicadas apenas em casos excepcionais.

Um exemplo deste tipo de actuação encontra-se na A44, em alguns troços que passam pelo centro de Vila Nova de Gaia (fig. 2.21).

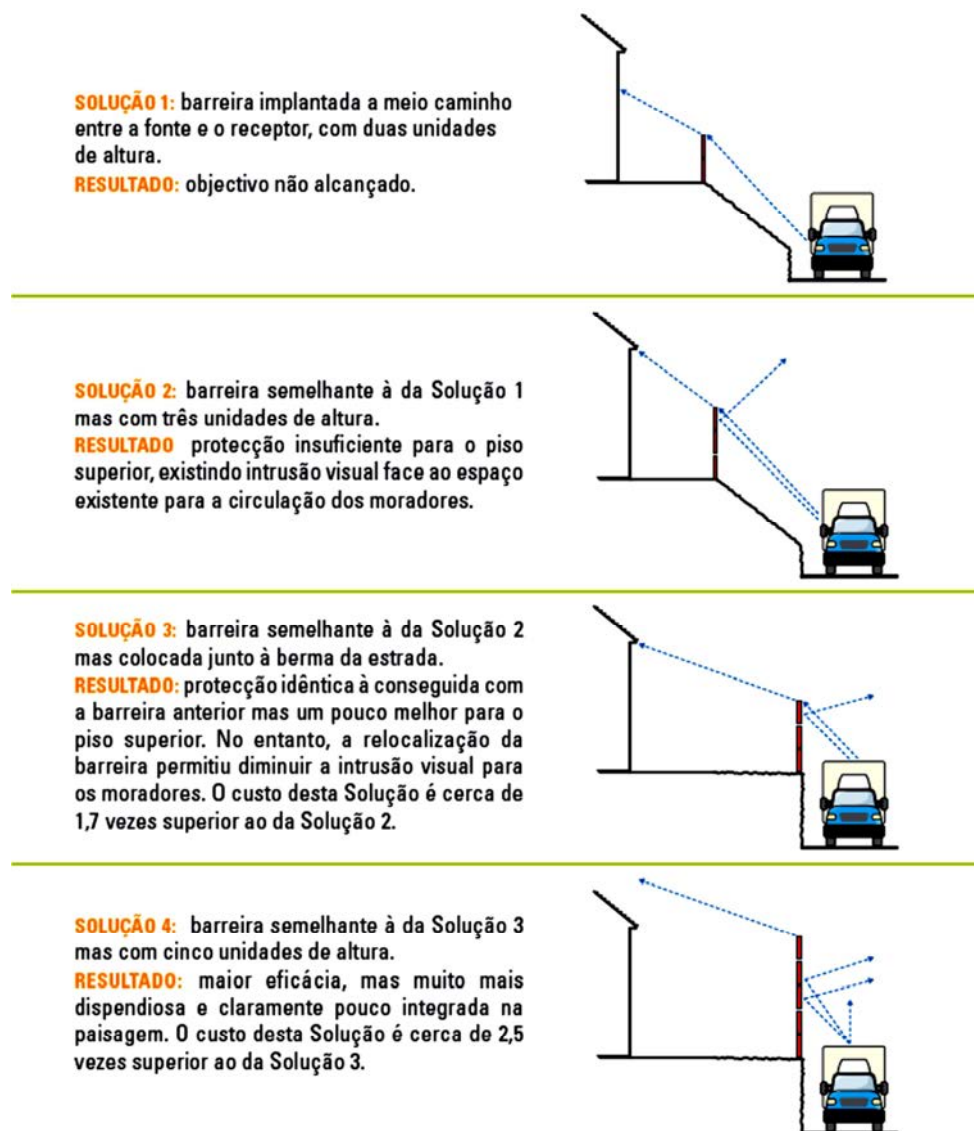


Fig. 2.16: Exemplos de soluções na construção de uma barreira acústica junto a uma moradia [5].

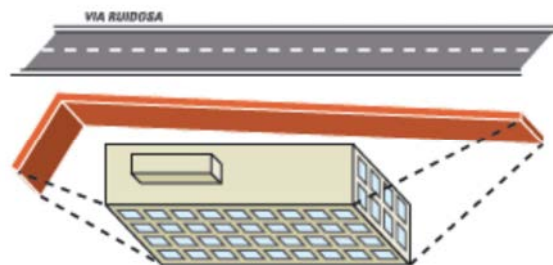


Fig. 2.17: Colocação e extensão ideal para uma barreira [5].



Fig. 2.18: Cobertura leveira com funções estritamente acústicas [5].

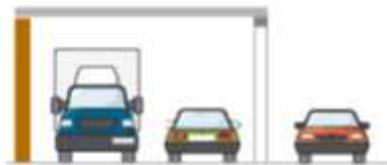


Fig. 2.19: Cobertura parcial da estrada (muro, cobertura leveira e apoio) [5].

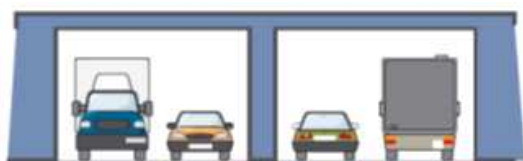


Fig. 2.20: Cobertura pesada sobre a qual se pode circular (túnel) [5].



Fig. 2.21: Túnel Soares dos Reis em Mafamude, Vila Nova de Gaia [19].

Existem alguns problemas com as reflexões que se podem originar, tal como se observa na fig. 2.22. Estes acontecem quando a largura (L) da estrada é muito inferior à altura média (H) das barreiras (ou edifícios) que a ladeiam.

Sempre que $H/L > 0,2$ a estrada designa-se por estrada em U e o valor H , para cérceas diferentes dos dois lados da via, toma o valor da altura média da cércea mais baixa [5].

Uma forma de actuar consiste na utilização de materiais absorventes, sendo que a sua eficácia é limitada e varia entre 2 a 3 dB(A). Um exemplo encontra-se na A44 em V. N. de Gaia onde se aplicaram materiais absorventes nas paredes da via (fig. 2.23).

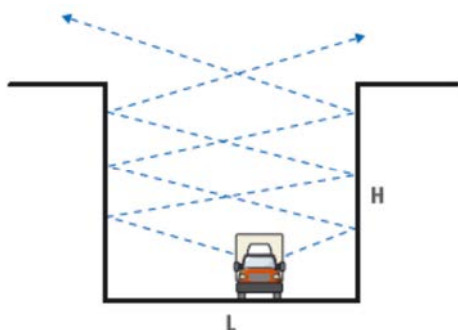


Fig. 2.22: Reflexões criadas pelas barreiras laterais da via [5].



Fig. 2.23: A44 em Mafamude, Vila Nova de Gaia, onde se destacam os materiais absorventes aplicados nas paredes da via [19].

2.6.2. ACTUAÇÃO NOS EDIFÍCIOS

Como se disse anteriormente, uma das formas de agir perante o ruído consiste em actuar no meio receptor. Ora isto nem sempre é fácil, principalmente quando o edifício já está construído.

A seguir descrevem-se alguns métodos que podem ser seguidos na fase de concepção para reduzir o ruído percebido nos edifícios [5]:

- Limitar o número de fachadas expostas.

É importante que na concepção do edifício se tenha em consideração a presença das fontes sonoras e a respectiva localização destas.

As imagens na fig. 2.24 mostram como a forma do edifício possibilita a criação de zonas quase sem ruído num dos seus lados.

Se aliado à disposição favorável do edifício se colocarem barreiras acústicas correctamente dimensionadas entre a fonte e o meio receptor, os resultados na redução do ruído podem ser melhorados. Exemplo disso é presente na fig. 2.25 onde se demonstra que aliado à disposição do edifício, a colocação de uma barreira de 5 metros de altura pode proporcionar decréscimos no ruído para o lado contrário à estrada de 20 dB(A).

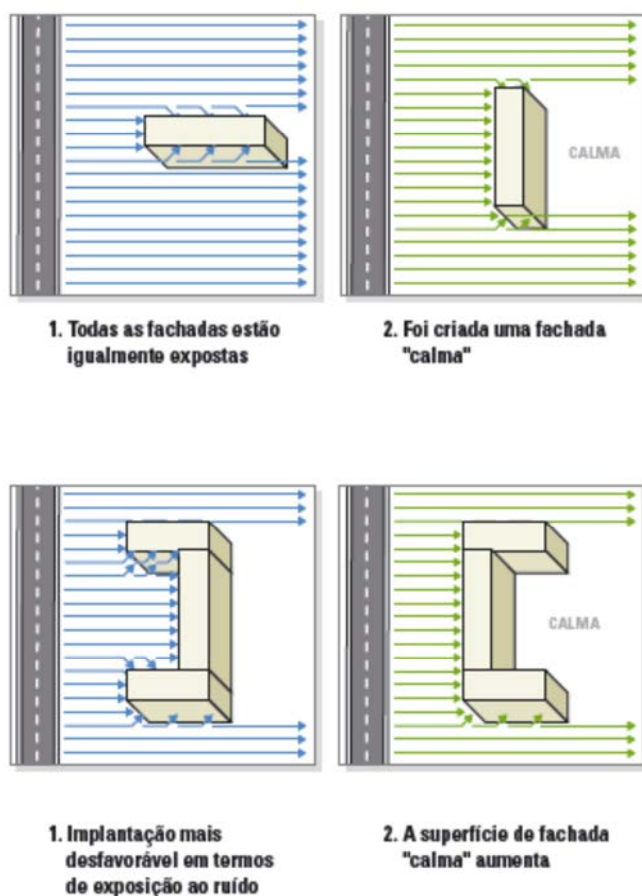


Fig. 2.24: Diferentes disposições dos edifícios face às fontes de ruído [5].

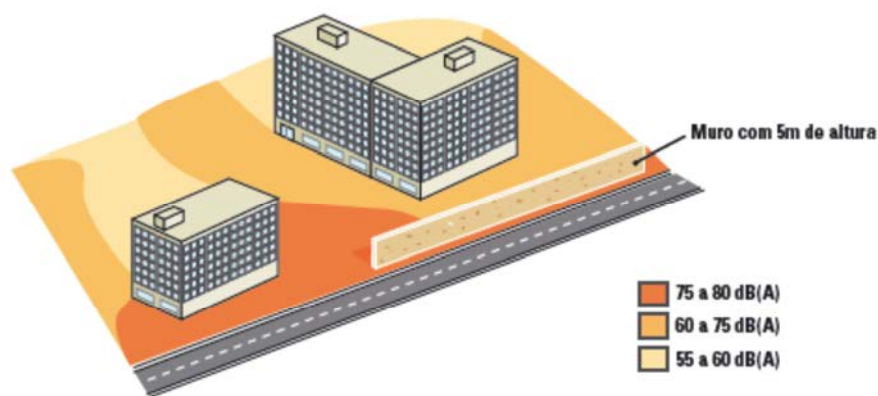


Fig. 2.25: Redução do nível sonoro proporcionado pela disposição do edifício e pela colocação de uma barreira acústica de 5m de altura [5].

- Organizar os edifícios em função do ruído.

A organização do espaço dentro dos apartamentos e das habitações pode ser pensada de maneira a favorecer as zonas mais sensíveis ao ruído. Para tal pode-se dispor, por exemplo, as zonas de acesso, as escadas, a cozinha e as casas-de-banho viradas para as fachadas mais expostas ao ruído e os quartos de dormir, a sala de estar, o escritório e restantes compartimentos para as outras fachadas que não estejam tão expostas às fontes de ruído exterior (figura 2.26).



Fig. 2.26: Disposição dos compartimentos num apartamento em função do ruído exterior [5].

- Actuar nas fachadas dos edifícios.

O ruído exterior pode transmitir-se através de elementos da fachada que tenham mais baixos índices de isolamento sonoro.

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) instituído pelo DL 96/2008 de 9/6 [20], visa “regular o conforto acústico ao nível da edificação, actuando ao nível do projecto e construção dos edifícios para melhoria da qualidade do ambiente acústico e do bem-estar das populações”.

Este regulamento aplica-se a um conjunto diversificado de edifícios, sendo que o valor ajustado do isolamento sonoro a ruídos aéreos aplicado aos elementos exteriores ($D_{2m,nT,w}$), é o que consta no quadro 2.6. Os valores constantes neste quadro podem sofrer ajustes tendo em atenção as zonas e a percentagem de área translúcida da fachada.

Quadro 2.6: Valores de $D_{2m,nT,w}$ para os diferentes tipos de edifícios abordados pelo RRAE [8].

Elementos exteriores de edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras.	
Zonas sensíveis	$D_{2m,nT,w} \geq 28 \text{ dB}^{\# *}$
Zonas mistas (ou sensíveis com GIT)	33 dB ^{# *}
Elementos exteriores de edifícios escolares e similares, de investigação, e ainda de edifícios hospitalares e similares.	
Zonas sensíveis	$D_{2m,nT,w} \geq 28 \text{ dB}^*$
Zonas mistas (ou sensíveis com GIT)	33 dB [*]
Elementos exteriores de edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais.	
Zonas sensíveis	$D_{2m,nT,w} \geq 25 \text{ dB}^*$
Zonas mistas (ou sensíveis com GIT)	30 dB [*]
Elementos exteriores de recintos para oratória ou música.	
$D_{2m,nT,W} + C$ ou Ctr de forma a ter $L_{Aeq} < 30 \text{ dB}$ sem funcionamento de instalações técnicas.	

[#] Acrescido de 3 dB quando art.º 12 n. 7 do RGR (zonas urbanas consolidadas onde se excede os limites < 5 dBA)

^{*} Se área translúcida > 60 % da fachada adiciona-se C ou Ctr ao valor medido.

GIT – Grandes Infra-estruturas de Transporte (> 3 milhões veíc. rod.; > 50.000 aviões; > 30.000 comboios /ano).

O termo de adaptação, C ou Ctr, é uma correcção que varia em função das características espectrais do ruído na emissão.

As partes opacas, como as paredes exteriores e a cobertura, geralmente garantem o isolamento sonoro necessário, mas o mesmo não se pode dizer das janelas, dos sistemas de ventilação e das caixas de estore.

O nível de isolamento sonoro de uma janela e/ou porta exterior depende dos seguintes factores [21]:

- Tipo de vidro utilizado (massa superficial e rigidez);
- Tipo de preenchimento utilizado nos espaços entre panos de vidro (ar ou gás inerte);
- Modo de colocação e fixação do vidro;
- Grau de permeabilidade entre o aro e a folha (através de juntas de estanquidade), sendo fundamental a escolha de tipologias de janelas oscilobatentes em detrimento de janelas de correr;
- Ligação entre a janela e a alvenaria que lhe serve de suporte;
- Tipo de material dos perfis do caixilho.

As entradas de ar, para o sistema de ventilação ou caixa de estore, devem ser tratadas ou revistas de forma a proporcionarem um melhor isolamento ao ruído exterior (ver figuras 2.27 e 2.28).

Uma solução para a ventilação seria por exemplo, a instalação de ventilação mecânica controlada por condutas.

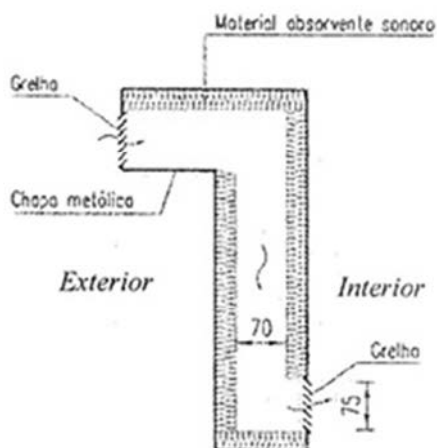


Fig. 2.27: Abertura de ventilação tratada para minimizar a degradação do isolamento sonoro [8].

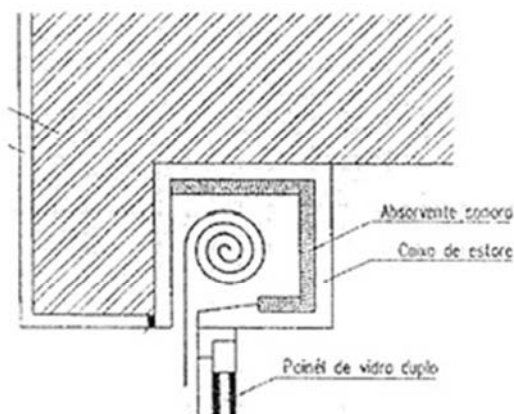


Fig. 2.28: Caixa de estore tratada para minimizar a degradação do isolamento sonoro [8].

2.6.3. INTERVENÇÃO URBANA

As formas urbanas podem favorecer ou dificultar a propagação do ruído. A fig. 2.29 demonstra como a construção de obstáculos pode ser um método que traz benefícios em termos de diminuição do ruído.

Tal como se percebe, a forma dos edifícios é essencial. Embora nem sempre seja praticável isolar o edifício do ruído exterior é sempre possível pensar em soluções que criem pátios interiores através de “edifícios em recortes” que são espaços quase imunes ao ruído do tráfego rodoviário. Este tipo de construção é muito frequente em edifícios antigos.

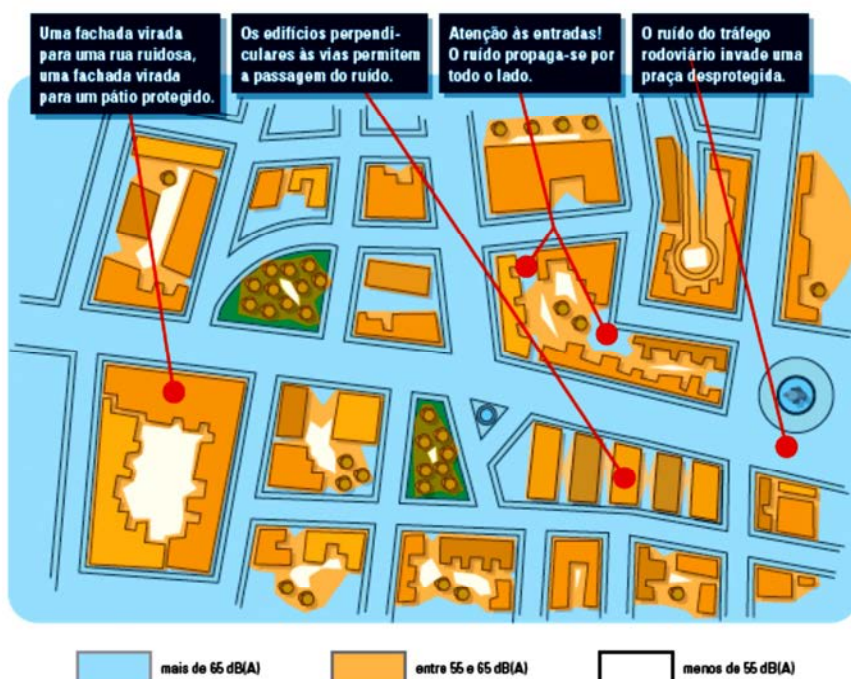


Fig. 2.29: Obstáculos urbanos à propagação do ruído [5].

3

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RÚIDO AMBIENTAL

3.1. NORMAS E PROCEDIMENTOS

3.1.1. NP ISO 1996

As normas ISO são elaboradas por equipas técnicas da Organização Internacional de Normalização, ou seja da federação mundial de organismos nacionais de normalização.

O objectivo geral da série ISO 1996 é contribuir para a harmonização internacional dos métodos de descrição, medição e avaliação do ruído ambiental de todas as fontes. Em 2011 ela foi traduzida para português e publicada sob a denominação NP ISO 1996 [14].

Essa norma 1996 divide-se em duas partes. A primeira designa-se “Grandezas fundamentais e métodos de avaliação” e a segunda chama-se “Determinação dos níveis de pressão sonora” [14, 15].

A NP ISO 1996 especifica os “*métodos de avaliação do ruído ambiente e fornece indicação sobre como prever a potencial resposta ao incómodo de uma comunidade, resultante da exposição de longo prazo a diversos tipos de ruídos ambiental*” [14]. Admite-se a hipótese de as fontes sonoras poderem ser isoladas ou de surgirem em diversas combinações. A previsão da potencial resposta ao incómodo é limitada a áreas residenciais e aos correspondentes usos do solo de longo prazo. Não se estabelecem limites para o ruído ambiente.

Nos termos que interessam ao presente trabalho, descreve-se os seguintes aspectos:

- Indicadores de ruído na comunidade

Utiliza-se normalmente o nível de avaliação contínuo equivalente². Podem também ser especificados outros indicadores tais como o nível máximo de pressão sonora, o nível de exposição sonora (ajustado) ou o nível de pressão sonora de pico.

A ponderação em frequência A é geralmente utilizada para avaliar o ruído emitido por todo o tipo de fontes sonoras exceptuando os ruídos impulsivos de elevada energia ou os ruídos com significativo conteúdo de baixa frequência. Contudo, a ponderação em frequência A não deve ser utilizada na medição níveis de pressão sonora de pico.

² Os parâmetros referidos neste ponto e que não foram mencionados previamente, são descritos no subcapítulo 3.2.

- Indicadores de ruído ambiente

Dependendo da situação, o ruído de tráfego rodoviário pode ser classificado como um som contínuo ou como o somatório de vários acontecimentos discretos repetitivos. O som contínuo é, preferencialmente, descrito pelo nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, num intervalo de tempo. Os sons intermitentes e flutuantes podem ser descritos pelo nível máximo de pressão sonora, ponderado A e com uma determinada ponderação no tempo.

Para situações de ruído proveniente de tráfego rodoviário em baixo volume, considera-se que se trata de acontecimentos discretos repetitivos que são como a soma do ruído dos múltiplos acontecimentos individuais. Na NP ISO 1996, a descrição de todas as fontes sonoras de acontecimentos discretos repetitivos utiliza os níveis de exposição sonora de acontecimentos discretos e o correspondente número de acontecimentos para determinar o nível de avaliação contínuo equivalente.

- Limites

Tal como descrito, estes não estão definidos pela norma devendo-se aplicar-se os limites definidos pelas autoridades competentes (RGR 2007).

- Intervalos de tempo

Os intervalos de tempo, aos quais a avaliação é referenciada, devem ser especificados e relacionados com as actividades humanas típicas e as variações de funcionamento das fontes sonoras. As condições operativas da fonte devem ser estatisticamente representativas do ruído ambiental em consideração. Para a obtenção de uma estimativa fiável do nível sonoro contínuo equivalente e do nível máximo de pressão sonora, o intervalo de tempo de medição deve englobar um número mínimo de acontecimentos sonoros.

- Fontes sonoras e respectivas condições de funcionamento

As fontes sonoras devem ser especificadas, bem como, quando apropriado, as condições de funcionamento.

- Locais

Os locais onde os limites do ruído devem ser cumpridos devem ser claramente especificados.

- Condições de propagação

Na propagação do som no exterior, os níveis de pressão sonora medidos no receptor podem ser influenciados pelas alterações das condições meteorológicas. Nestes casos, os limites do ruído devem ser baseados nos valores médios para todas as condições de propagação relevantes, ou para uma única condição especificada.

- Incertezas

Para a avaliação da conformidade com os valores limite deve ser definida a metodologia de aplicação da incerteza da medição ou da incerteza associada ao método de previsão. No caso da incerteza da medição, pode ser necessário especificar um número mínimo de medições estatisticamente independentes.

3.1.2. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO

O procedimento de medição do ruído instituído pelo Instituto do Ambiente, actual Agência Portuguesa do Ambiente [22], embora referente ao ano de 2003 e por conseguinte ao RGR de 2002, apresenta alguns conceitos que em termos de procedimentos e formas de actuar são interessantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

Descrevem-se os seguintes pontos [22]:

- Equipamento a utilizar:
 - o Deve-se utilizar um sonómetro integrador³ da classe de precisão 1.
 - o A marca e modelo do equipamento devem estar homologadas pelo IPQ⁴.
 - o É obrigatório que o sonómetro seja sujeito a um controlo metrológico anual.
 - o Antes e depois de uma sessão de medições acústicas, o aparelho deve ser calibrado.
- Medições no exterior:
 - o Preferencialmente, os pontos de medição devem localizar-se a mais de 3,5 m de qualquer superfície reflectora e entre 1,2 m e 1,5 m acima do solo.
- Período e duração das medições:
 - o O intervalo de tempo de medição deve permitir obter um valor representativo da situação a caracterizar. No limite, a sua duração pode coincidir com a duração de todo o intervalo de tempo de referência, correspondendo assim a uma medição em contínuo.
 - o No caso de não serem efectuadas medições em contínuo, recomenda-se que o intervalo de tempo de medição acumulado do conjunto de amostras obtidas seja, no mínimo, de 30 minutos e que cada amostra não seja inferior a 10 minutos, excepto quando a duração do ruído particular for inferior.
 - o Recomenda-se que a recolha de amostras para a obtenção do valor representativo tanto do ruído ambiente como do ruído residual seja repetida em, pelo menos, dois dias distintos.
- Determinação dos níveis sonoros:
 - o O indicador base do ruído é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} .

3.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE

A norma NP ISO 1996 [14] define o conjunto de parâmetros de análise do ruído descritos no quadro 3.1.

Os níveis apresentados no quadro 3.1 devem ser ponderados em frequência, ou na banda de frequências, e, se aplicável, no tempo.

³ Para mais pormenores consultar ponto 3.3.1.

⁴ Instituto Português da Qualidade (www.ipq.pt).

Quadro 3.1: Parâmetros de Avaliação do Ruído [14].

Parâmetro	Símbolo
Nível de pressão sonora	L_p
Nível máximo de pressão sonora	L_{max}
Nível percentil	L_N
Nível de pressão sonora de pico	L_{peak}
Nível de exposição sonora	L_E
Nível sonoro contínuo equivalente	L_{eq}
Nível de avaliação de exposição sonora	L_{RE}
Nível de avaliação contínuo equivalente	L_{Req}

Faz-se uma pequena descrição destes parâmetros nos pontos que se seguem:

- O **nível de pressão sonora** já foi definido no segundo capítulo e a sua fórmula corresponde à expressão 2.1. O nível de pressão sonora deve ser ponderado no tempo e em frequência (ponderação A passando a designar-se nível sonoro), e a sua unidade é o decibel (dB).
- O **nível máximo** corresponde ao valor máximo do nível de pressão sonora, ponderado num tempo e em frequência, para um determinado intervalo de tempo. Este parâmetro é expresso em decibel (dB).
- O **nível percentil**, ou nível excedido em N por cento do tempo, já foi referenciado no ponto 2.2.3 do segundo capítulo, sendo o seu valor expresso em dB (N pode ser 10, 50, 90 ou outro valor).
- O **nível de pressão sonora de pico** corresponde ao valor traduzido pela expressão 3.1, e que se traduz em “dez vezes o logaritmo na base 10 da razão entre o quadrado da pressão sonora de pico (p_{peak}) e o quadrado da pressão sonora de referência (p_0), em que a pressão sonora de pico é o valor máximo absoluto da pressão sonora instantânea num dado intervalo de tempo, determinada com uma ponderação em frequência normalizada ou numa determinada banda de frequências” [14]. O nível de pressão sonora de pico é expresso em decibel (dB).

$$L_{peak} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{p_{peak}^2}{p_0^2} \right) = 20 \times \log_{10} \frac{p_{peak}}{p_0} \quad (3.1)$$

- O **nível de exposição sonora**, também conhecido pela sigla SEL (*sound exposure level*), equivale a “dez vezes o logaritmo na base 10 da razão entre a exposição sonora, E , e a exposição sonora de referência, E_0 , sendo a exposição sonora o integral no tempo da evolução do quadrado da pressão sonora instantânea ponderada em frequência [expressa em pascal ao quadrado segundo ($Pa^2 \cdot s$)], durante um intervalo de tempo, T , ou um acontecimento acústico” [14]. Esta definição traduz-se na expressão 3.2, sendo E_0 igual ao quadrado da pressão sonora de referência de 20 μPa multiplicado

pelo intervalo de tempo de 1 s [400 (μPa)²s], tal como se reproduz na expressão 3.3. O nível de exposição sonora é expresso em decibel (dB).

$$L_E = 10 \times \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (3.2)$$

$$E = \int_T p^2(t) dt \quad (3.3)$$

- O **nível sonoro contínuo equivalente** é igual a “dez vezes o logaritmo da base 10 da razão entre o quadrado da pressão sonora eficaz num determinado intervalo de tempo e o quadrado da pressão sonora de referência, sendo a pressão sonora obtida com uma ponderação normalizada em frequência” [14]. O nível sonoro contínuo equivalente está definido na expressão 2.3 presente no segundo capítulo. O nível sonoro contínuo equivalente é expresso em decibel (dB). Também pode ser designado por “nível de pressão sonora médio no tempo”.
- Os **níveis de avaliação** dizem respeito a qualquer nível sonoro, calculado ou medido, ao qual tenha sido adicionada uma correcção. Pode ser obtido um nível de avaliação pela adição de correcções aos níveis medidos ou previstos, de modo a ter em conta certas características particulares do som, tais como a tonalidade ou a impulsividade. Pode ser criado um nível de avaliação pela adição de correcções aos níveis medidos ou previstos, de modo a ter em conta diferenças entre diversos tipos de fontes sonoras.

3.3. EQUIPAMENTOS

3.3.1. SONÓMETROS

3.3.1.1. Constituição e Classificação

Os sonómetros são sistemas de medição de pressão sonora, constituído basicamente por [23]:

- Transdutor;
- Unidade de processamento de sinal;
- Secção de análise de sinal;
- Unidade de leitura.

Quanto à classificação, existem quatro classes ou tipos de exactidão, que variam de acordo com a utilização pretendida para o sonómetro:

- Tipo 0: padrões de laboratório;
- Tipo 1: uso em laboratório ou em campo quando o ambiente acústico é controlado;
- Tipo 2: aplicação em campo;
- Tipo 3: muito baixa exactidão.

A figura 3.1 apresenta esquematicamente o diagrama em blocos de um sonómetro, onde se incluem circuitos de ponderação em frequência ligados a filtros externos assim como detectores de pico.

A figura 3.2 mostra um conjunto de exemplos de sonómetros disponíveis num catálogo da *Brüel & Kjær* [24].

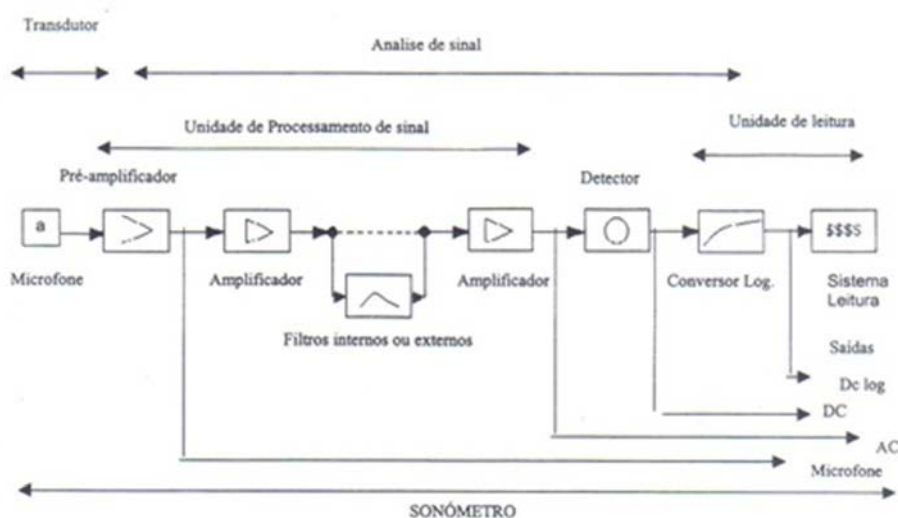


Fig. 3.1: Diagrama em blocos de um sonómetro [23].



Fig. 3.2: Diferentes tipos de sonómetros da *Brüel & Kjær* [24].

3.3.1.2. Transdutor

Quando o meio de transmissão é o ar, o transdutor normalmente utilizado para a conversão da pressão sonora num sinal eléctrico é o microfone.

O microfone deve satisfazer as exigências técnicas necessárias para a obtenção da exactidão e repetibilidade de medição pretendidas, nomeadamente no que diz respeito à resposta em frequência, gama dinâmica, directividade e estabilidade. Deve-se atender ainda às condições ambientais, como a humidade, a temperatura e velocidade do ar, para garantir os limites de operação dos instrumentos utilizados.

O microfone mais utilizado é o microfone condensador por ser o que melhor se adapta ao conjunto de situações descritas [23].

3.3.1.3. Filtros e Ponderação em Frequência

Seguindo o esquema da figura 3.1, antes do processamento do sinal, este é amplificado e ponderado, permitindo assim se necessário ir de encontro à forma como o aparelho auditivo humano se apercebe dos fenómenos auditivos (ponderação A).

No segundo capítulo, a fig. 2.4 apresenta a curva de algumas ponderações existentes, utilizadas para diferentes situações.

Actualmente são utilizados filtros que já vêm incluídos na electrónica dos equipamentos ou no seu *software* não sendo parte destacáveis [8]. Basicamente são circuitos que transmitem a parte do sinal de entrada que se encontra dentro da sua banda passante e atenua completamente todas as componentes em outra qualquer frequência.

O filtro mais utilizado designa-se por filtro *Passa Banda*, existindo também filtros tipo A ou C. A análise em bandas de frequência, de 1/1 oitava ou 1/3 oitava ou inferior, pode ser realizada através de um filtro com frequência central ajustável, ou por bancos de filtros com banda passante contígua [23].

3.3.1.4. Detector

O detector é um circuito que permite extrair ao sinal a informação com interesse, isto é, o seu valor eficaz (detector RMS) ou o valor do sinal instantâneo mais elevado (detector de pico).

O valor eficaz de um sinal sonoro é dado pela expressão 3.4:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dT} \quad (3.4)$$

Na figura 3.3 pode-se observar a correspondência entre o valor eficaz (RMS), o valor de pico (*peak*) e o valor médio (*average*) para um sinal sinusoidal.

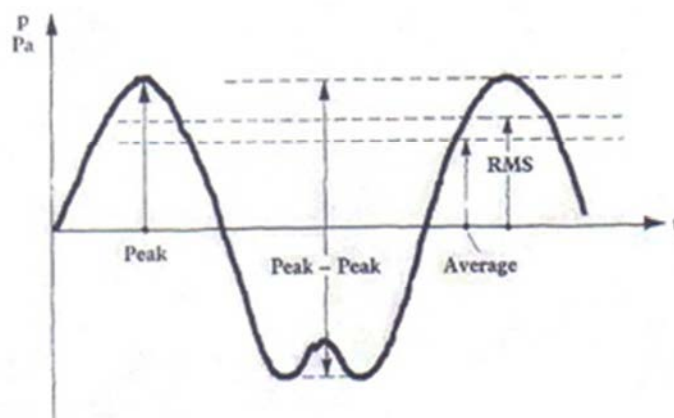


Fig. 3.3: Relação entre valor eficaz (RMS), valor médio (*average*) e valor de pico (*peak*) [23].

O detector utiliza uma média no tempo, designada de média exponencial ou *RC*, para definir os limites do sinal. Os sonómetros usuais fornecem médias temporais com constantes de tempo iguais a 125 ms e 1 s, também chamadas respectivamente de *Fast* (*F*) e *Slow* (*S*). Existe ainda um terceiro modo chamado *Impulse* (*I*), que tem uma constante de tempo de subida de 35 ms, seguida por um detector de pico com 1,5 s de tempo de decaimento.

No quadro 3.2 podem-se observar as diferentes situações a que se aplicam as constantes no domínio do tempo.

Quadro 3.2: Constantes de tempo possíveis de analisar no sonómetro e suas aplicações [23].

Constante de tempo	Indicações
<i>Slow</i>	Estimativa do nível sonoro médio, ou quando existem flutuações muito rápidas que a constante de tempo <i>Fast</i> não consegue seguir convenientemente
<i>Fast</i>	Acompanha melhor as flutuações dos níveis sonoros que a constante <i>Slow</i>
<i>Impulse</i>	Medição de ruídos impulsivos

Nos sonómetros integradores, a média temporal é realizada a partir da média exponencial do quadrado da pressão, que é armazenada e posteriormente, após um período definido pelo utilizador, é realizada a integração. A integração permite obter o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A e o nível de exposição sonora ponderado A⁵.

Na figura 3.4 pode-se observar o resultado da medição por um sonómetro para o mesmo sinal, utilizando a resposta *Fast* e *Slow*.

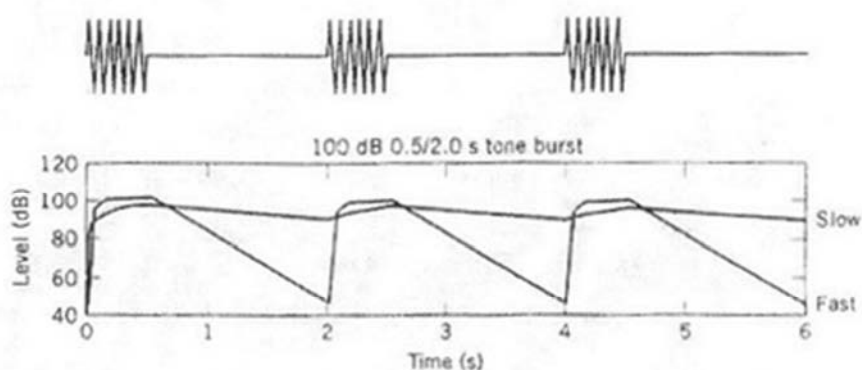


Fig. 3.4: Resposta *Fast* e *Slow* a um mesmo impulso sonoro [23].

⁵ Mais informações disponíveis no ponto 3.2.

3.3.2. MICROFONE CONDENSADOR

Os microfones têm diferentes formas e dimensões, como por exemplo os diâmetros de: 1, 1/2, 1/4 e 1/8 de polegada (25, 13, 6 e 3 mm). As características mais importantes do microfone são a resposta em frequência e sensibilidade, a gama dinâmica de funcionamento e as características direccionais [23].

A figura 3.5 compara a resposta em frequência e sensibilidade para as diferentes dimensões de microfones disponíveis para o mesmo valor de pressão sonora (1 pascal). A sensibilidade de um microfone é definida como a tensão no terminal de saída do microfone para cada unidade de pressão sonora a actuar (expressa em mV/Pa).

Verifica-se que o microfone de 1 polegada (25 mm) apresenta uma maior sensibilidade e que os de dimensão mais reduzida apresentam um intervalo de medição em frequência mais alargado.

No que diz respeito à gama dinâmica de funcionamento de um microfone, esta corresponde ao nível de pressão sonora que produz 3% de distorção harmónica na tensão de saída.

A figura 3.6 apresenta as gamas dinâmicas de funcionamento de microfones condensadores em função da sua dimensão. O valor inferior do nível de pressão sonora corresponde ao ruído térmico do próprio microfone ou ao ruído eléctrico do pré-amplificador ou do conjunto pré-amplificador-microfone.

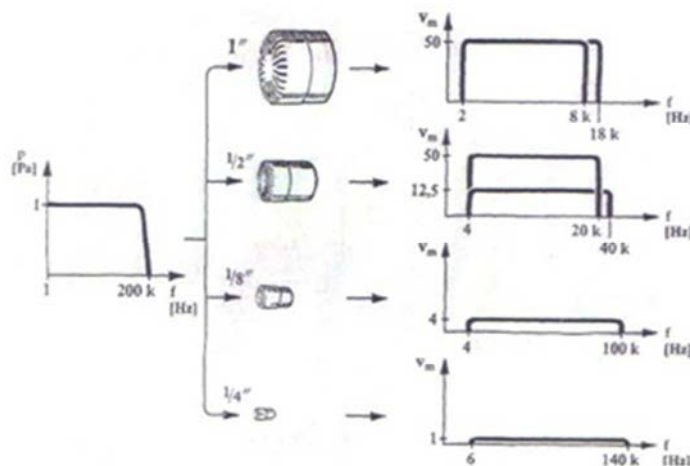


Fig. 3.5: Resposta em frequência e sensibilidade de microfones condensadores [23].

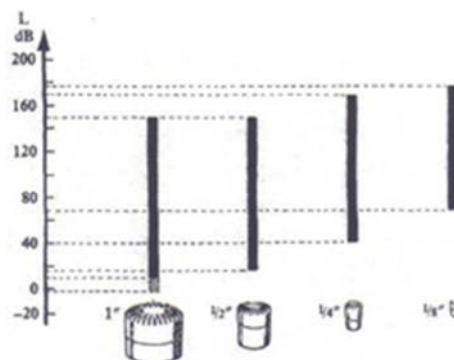


Fig. 3.6: Gamas dinâmicas de funcionamento para microfones condensadores [23].

Em função da frequência os microfones apresentam características direccionais diferentes. Na figura 3.7, relativa a dois microfones condensadores de ½ polegada do fabricante *Brüel & Kjær* modelos 4165 e 4166, constata-se que para as baixas frequências os microfones são omnidireccionais, enquanto nas altas frequências a sensibilidade às ondas sonoras de incidência superior a 30° é reduzida.



Fig. 3.7: Características direccionais dos microfones de ½ polegada, B&K 4165 e 4166 [23].

Num determinado campo sonoro, a propagação das ondas sonoras é perturbada pela presença do microfone. De forma a compensar estas perturbações existem três subdivisões de microfones que se adequam a diferentes campos sonoros [23]:

- Microfone de pressão, construído para que a sua resposta em pressão seja plana ao longo da frequência;
- Microfone para campo de incidência aleatória, construído para medições em campos reverberantes;
- Microfone de campo livre, construído para que a sua resposta em frequência seja plana para a incidência de 0°.

Na figura 3.8 apresentam-se alguns exemplos de aplicações destes três tipos de microfones.

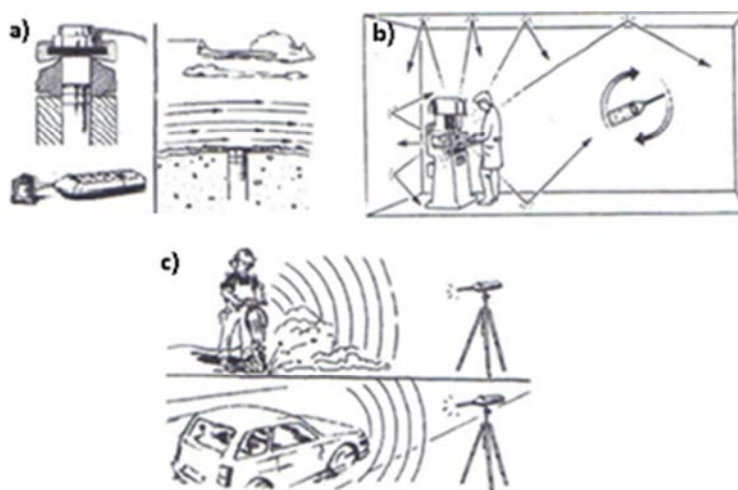


Fig. 3.8: Exemplo de utilização de microfones a) de pressão, b) de incidência aleatória e c) de campo livre [23].

3.3.3. CALIBRADOR SONORO

Os calibradores sonoros são pequenas fontes sonoras construídas de modo a produzirem um determinado nível de pressão sonora para uma frequência específica, quando acopladas a certos tipos de microfones. O nível de pressão sonora gerado no calibrador depende da configuração do microfone utilizado (e de parâmetros ambientais), existindo adaptadores para diferentes dimensões de microfones ($\frac{1}{2}$ ", $\frac{1}{4}$ ", etc.).

O calibrador é utilizado em diferentes campos, nomeadamente nos laboratórios metrológicos e nas medições mais comuns no domínio de acústica (medição da exposição dos trabalhadores ao ruído, verificação da existência de incomodidade e medição do ruído emitido por máquinas e equipamentos). No que diz respeito aos sonómetros, os calibradores permitem o ajuste da sensibilidade à pressão sonora destes aparelhos, tal como se pode observar na figura 4.9.



Fig. 3.9: Utilização de um calibrador sonoro num antigo sonómetro B&K [23].

3.4. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LOCAIS DE ESTUDO

3.4.1. EQUIPAMENTO

Na presente dissertação descreve-se um conjunto de situações de análise com características semelhantes em termos de metodologia e equipamento.

Começando pela descrição do equipamento utilizado este consta de um sonómetro integrador tipo 1 da *Brüel & Kjær*, modelo 2236, com um microfone condensador tipo 4188 para campo livre, de $\frac{1}{2}$ polegada (fig. 3.11) [25]. Utiliza-se ainda um tripé que possibilita o posicionamento estático do sonómetro a uma altura fixa de 1,2 a 1,5 metros de altura do solo (fig. 3.12). Ambos foram disponibilizados pelo Laboratório de Acústica da FEUP.

As condições de calibração são de 94 dB para a frequência de 1000 Hz, tendo-se utilizado o calibrador modelo 4231 da B&K (fig. 3.10).



Fig. 3.10: Calibrador sonoro modelo 4231 da *Brüel & Kjær* [24].



Fig. 3.11: Sonómetro da *Brüel & Kjær* modelo 2236 [fotografia do autor].



Fig. 3.12: Sonómetro e tripé montados [fotografia do autor].

Em termos de direcionalidade, o microfone possui as características que se descrevem na figura 3.13 aonde é possível observar que até aos 4 kHz o comportamento é praticamente omnidireccional.

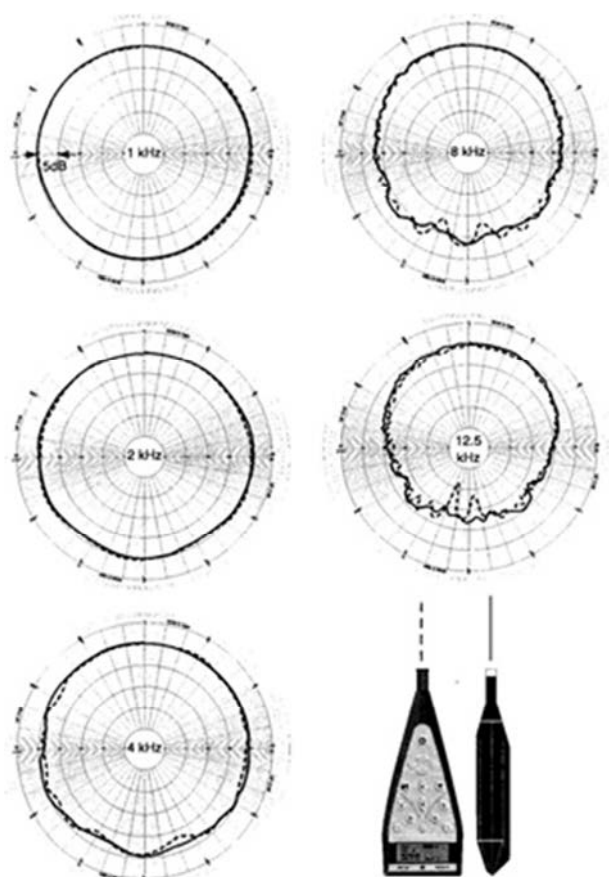


Fig. 3.13: Características direccionais do microfone condensador B&K 4188 nas frequências de 1, 2, 4, 8 e 12,5 kHz [25].

3.4.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE

Os parâmetros de análise medidos nos diferentes locais foram: L_{Aeq} , L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} . Como se percebe, estes parâmetros têm a ponderação A, adequando assim os resultados à audição humana. No que diz respeito à constante de tempo utilizou-se o modo *F* (*Fast*).

3.4.3. PROCEDIMENTO

Em termos de procedimento, faz-se uma enumeração dos princípios seguidos nas diferentes medições bem como algumas observações:

- As medições realizam-se nos dias em que se verificam condições meteorológicas satisfatórias (céu limpo e vento com velocidade inferior a 5 m/s);
- Para os casos em que se pretende comparar os valores das medições de estudos prévios, adopta-se um horário que seja análogo ao dos estudos realizados anteriormente para existir uma correspondência entre as situações estudadas;
- Para os restantes estudos adopta-se o horário que permita a avaliação dos fenómenos a estudar;
- Usam-se tempos de medição de 15 a 20 minutos, procurando obter valores representativos dos parâmetros analisados;
- Durante as medições, registam-se os fenómenos que tenham influência nos valores obtidos (por exemplo, a paragem de veículos durante alguns minutos perto do sonómetro);
- O sonómetro é posicionado em lugares que não impeçam a circulação das pessoas;
- O equipamento é posicionado a pelo menos 3,5 metros de distância de superfícies reflectoras;
- Utilização do tripé para manter a estabilidade e a posição do sonómetro de 1,2 a 1,5 metros de altura do solo;
- Registo fotográfico dos locais analisados para futura memória e descrição.

Descritos os parâmetros, o equipamento e a metodologia utilizada, procede-se no capítulo 4 com a caracterização da cidade do Porto e com a apresentação dos estudos realizados previamente relativos a análises de ruído e a outros factores associados.

4

RUÍDO NA CIDADE DO PORTO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DO PORTO

Geograficamente o Porto situa-se na região norte de Portugal, onde ocupa uma posição descentrada junto à foz do rio Douro, ou seja junto ao litoral, na zona do Grande Porto (NUTS III) que se pode observar na fig. 4.1. Nesta figura é utilizada a Nomenclatura de Unidades Territoriais (NUTS) que constitui a “matriz territorial de referência para a apresentação dos dados estatísticos” [26] e que é implementado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE).

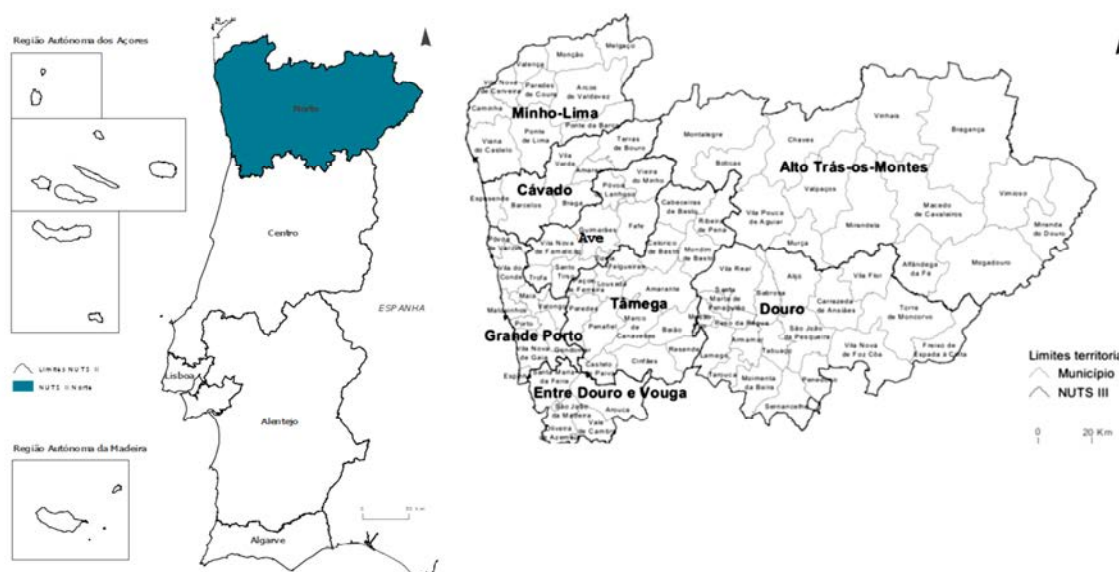


Fig. 4.1: Posicionamento da cidade do Porto em termos geográficos e regionais [27].

O Porto é uma das antigas cidades da Europa, que foi ocupada ao longo dos séculos por diferentes povos e cuja origem é remota e muito anterior ao período romano.

A sua identidade marcou-se no período dos Suevos⁶ onde aparece a denominada Portucale, sendo que num período posterior, aquando da reconquista da península ibérica aos muçulmanos,

⁶ Povo germânico da bacia do Elba que chega à Península Ibérica no séc. V, depois derrotados pelos Visigodos no séc. VI.

esta região renasce graças a uma personagem marcante do séc. IX, Vímara Peres, que a reordena e repovoa.

Desde as origens de Portugal que o Porto marcou e influenciou o país. Destacam-se alguns acontecimentos como [28]:

- A sua ligação à dinastia de Avis, com o alegado nascimento nesta cidade (1394) do infante D. Henrique, o impulsionador dos descobrimentos quinhentistas;
- As invasões francesas, onde se marca a tragédia da ponte das barcas (1809);
- As revoltas liberais (1832-34), em que se destaca a ligação do rei D. Pedro IV à cidade entregando-lhe o seu coração em sinal de reconhecimento pelo patriotismo e força de vontade das suas gentes;
- A luta pelos ideais republicanos, marcadas pela revolta de 31 de Janeiro de 1886.

Outrora amuralhado, o seu centro histórico, onde se conserva um vasto património, está classificado desde 1996 pela Unesco como “Cidade Património Mundial”.

A sua arquitectura está marcada por diferentes estilos destacando-se (ver na fig. 4.2) [19]:

- a *Torre dos Clérigos* concluída em 1763 e da autoria de Nicolau Nasoni (1691-1773) fortemente marcada pelo seu estilo barroco;
- a ponte metálica *Ponte Maria Pia* edificada pela empresa Eiffel Constructions Métalliques em 1877;
- a *Casa da Música*, um dos emblemas mais recentes, terminada em 2005 e da autoria do arquitecto holandês Rem Koolhaas.

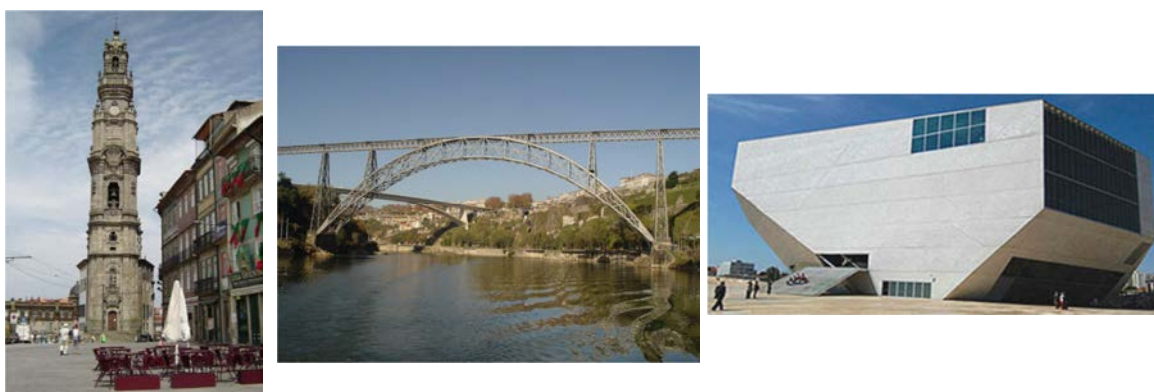


Fig. 4.2: Edifícios e estruturas arquitectónicas da cidade do Porto. Torre dos Clérigos (esquerda), Ponte Maria Pia (centro) e Casa da Música (direita) [19].

A cidade do Porto está ligada por diferentes infra-estruturas, como as auto-estradas, o porto comercial e o aeroporto Francisco Sá Carneiro, às restantes cidades do país. Existe na Área Metropolitana do Porto um importante número de serviços (públicos e empresariais) no domínio da logística, fortemente articulados com o Porto de Mar e o Aeroporto. À escala metropolitana deve destacar-se o projecto do Metro do Porto, que começou a funcionar em 2002 e está a tornar-se um dos principais meios de transporte públicos aliados ao comboio e ao autocarro.

O crescimento da taxa de motorização no país e a força centrípeta que a cidade exerce na envolvente urbana têm conduzido a problemas graves ao nível da circulação da cidade [29].

A estrutura urbana da cidade está fortemente marcada pelas vias que a envolvem com destaque para a VCI (Via de Cintura Interna) e a Circunvalação, bem como as ligações às auto-estradas e

às pontes que unem as duas margens do rio Douro. É possível ter um vislumbre desta estrutura na fig. 4.3.



Fig. 4.3: Mapa da cidade do Porto [30].

Em termos demográficos e sociais, a situação das cidades dependem da conjugação de diferentes factores como a sua dimensão, a posição hierárquica que ocupa no sistema urbano do país bem como o respectivo contexto regional e nacional. As cidades são os centros da actividade económica e desempenham um importante papel enquanto pólos geradores de emprego.

No Porto o emprego concentra-se sobretudo no sector dos Serviços, onde se destacam a administração pública, a saúde, a educação e a defesa. Aliado a estes existe um forte crescimento do turismo devido às caves do Vinho do Porto em Vila Nova de Gaia.

Verifica-se um acentuado movimento de descentralização da função residencial, registado sobretudo a partir do ano 1980 e fortemente associado ao funcionamento do mercado da habitação. Como resultado a área metropolitana do Porto regista um crescimento demográfico, enquanto o seu centro perde residentes [31].

A fig. 4.4 permite ter uma ideia de como a população evoluiu de 1991 a 2001 nas diferentes freguesias do Porto (estas são quinze e numeraram-se com a seguinte disposição: 1-Nevogilde, 2-Aldoar, 3-Ramalde, 4-Paranhos, 5-Campanhã, 6-Foz, 7-Lordelo do Ouro, 8-Massarelos, 9-Cedofeita, 10-Sto. Ildefonso, 11-Bonfim, 12-Miragaia, 13-Vitória, 14-Sé e 15-São Nicolau). Verifica-se que existe um decréscimo generalizado para todo o concelho, com especial destaque para as freguesias 10, 12, 13 e 14 (assinaladas a azul escuro) [32].

Em 2001, de acordo com a fig. 4.5 existe uma grande diferenciação da distribuição da população no Porto. Em termos da distribuição da população por idades, a fig. 4.6 mostra que para este ano a maior parte da população residente jovem se encontra nas freguesias mais limítrofes e geralmente nas zonas correspondentes a bairros sociais ou empreendimentos imobiliários recentes.

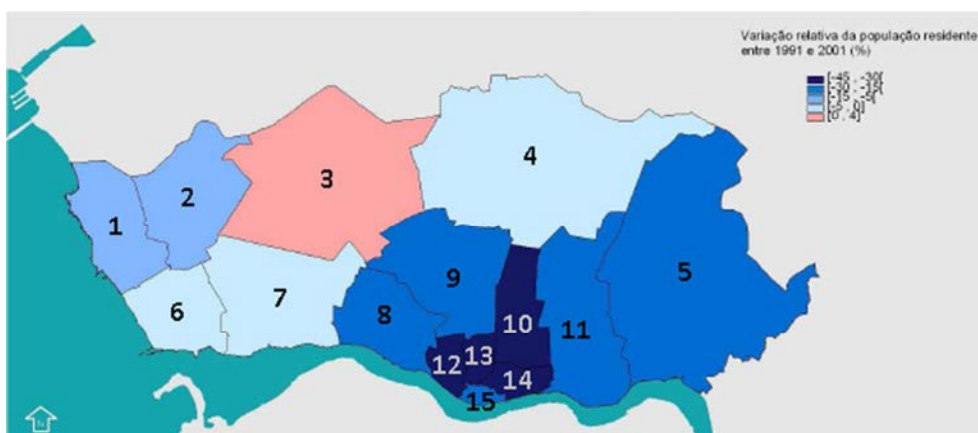


Fig. 4.4: Variação relativa da população no concelho do Porto de 1991 a 2001 por freguesias [32].
(1-Nevogilde, 2-Aldoar, 3-Ramalde, 4-Paranhos, 5-Campanhã, 6-Foz, 7-Lordelo do Ouro, 8-Massarelos, 9-Cedofeita, 10-Sto. Ildefonso, 11-Bonfim, 12-Miragaia, 13-Vitória, 14-Sé e 15-São Nicolau)

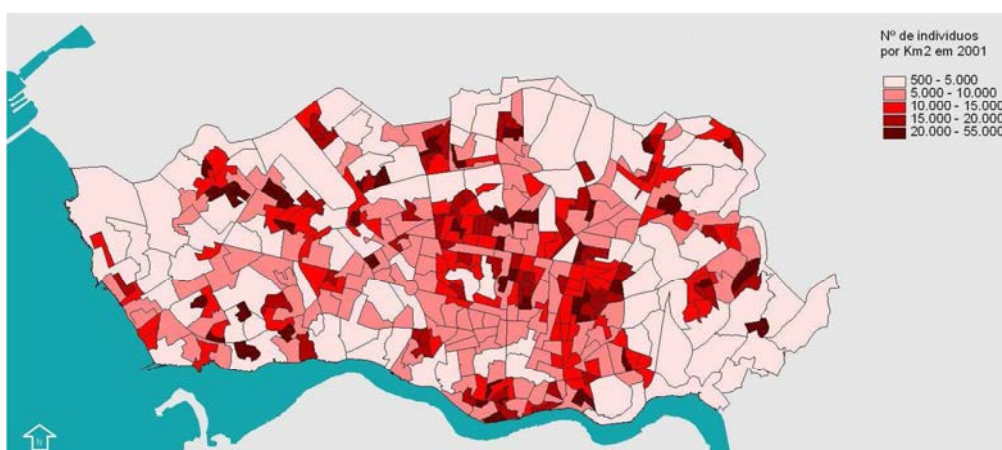


Fig. 4.5: Densidade populacional no concelho do Porto em 2001 [32].



Fig. 4.6: Peso relativo da população com menos de 15 anos no total da população residente em 2001 [32].

Na pirâmide etária da fig. 4.7 é possível observar que para o decénio de 1990 a 2000, e de acordo com os dados dos censos, a população no concelho do Porto envelheceu.

Para ficar com uma melhor ideia do número real de pessoas a que estas figuras dizem respeito, de acordo com os números reais tirados dos censos em 1990 o número de habitantes no Porto era de 302641 e em 2000, passados 10 anos, este número era mais baixo e correspondia a 263354 residentes [32], tendo a cidade perdido 13% dos seus habitantes.

A estes dados pode-se acrescentar outros relativos a migrações diárias decorrentes de pessoas que se deslocam diariamente para esta cidade e sobre o qual se fará uma referência mais pormenorizada no ponto 4.3.2.

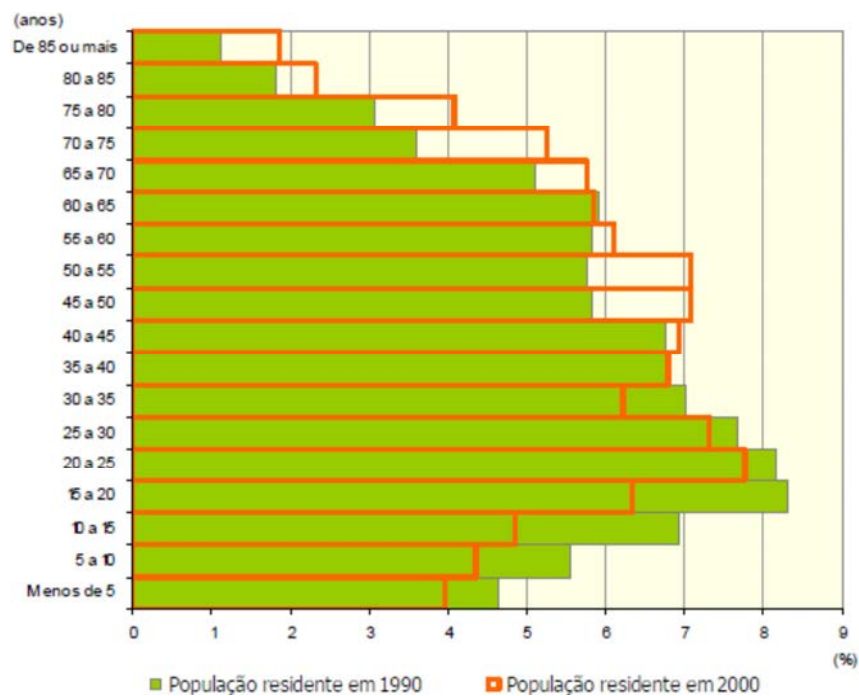


Fig. 4.7: Pirâmide etária comparativa para a população por grupos etários residente no concelho do Porto entre 1990 e 2000 [32].

Dos censos de 2011 apenas estão disponíveis para análise os resultados preliminares [33], pelo que não é possível proceder a uma comparação pormenorizada dos últimos 20 anos, idêntica à que é apresentada nas figuras 4.4 a 4.7.

Em termos de população total, de acordo com os dados de 2011 a população residente no Porto é de 237559 habitantes [33]. Os valores da figura 4.8 mostram que a população do concelho do Porto decresceu ao longo dos últimos anos, sendo a variação de -9,7 % nos últimos 11 anos, ou seja aproximadamente -21,5% desde 1990 (quadro 4.1).

Quadro 4.1: Variação da população no concelho do Porto desde 1990 até 2011.

Variação (%)	1990	2000	2011
≈ 10 anos	-13,0		-9,7
≈ 20 anos		-21,5	

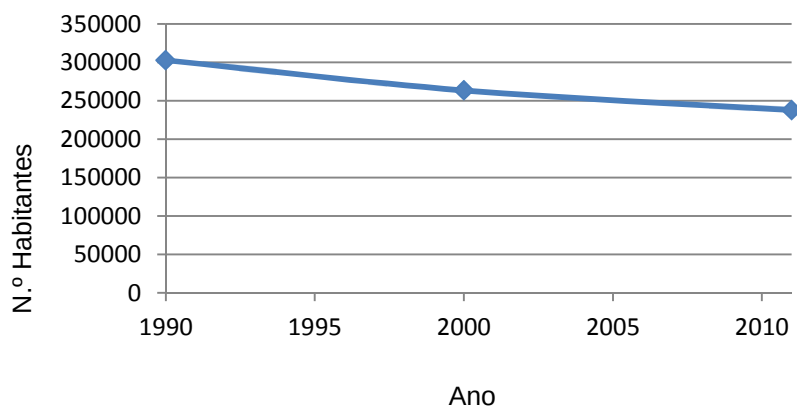


Fig. 4.8: Evolução do número total de habitantes do concelho do Porto desde 1990 até 2011.

4.2. ESTUDOS E DADOS EXISTENTES

4.2.1. MAPA DE RUÍDO

Os Mapas de Ruído, tal como descrito no ponto 2.5.3, são representações cartográficas que descrevem o ruído ambiente exterior expresso pelos indicadores L_{den} e L_n . Estes permitem obter uma “fotografia acústica” para um determinado concelho, e a localização dos pontos críticos ou dos locais que possuem uma boa qualidade do ambiente sonoro.

Os mapas disponíveis para a cidade do Porto são os constantes nas figuras 4.9 e 4.10, e foram obtidos em 2005 tendo em conta os parâmetros e períodos do RGR de 2002. O primeiro é referente ao período diurno, e por consequência o de maior ruído, e que vai das 7 h às 22 h. O segundo é para o período noturno que compreende as restantes horas (22-7 h).

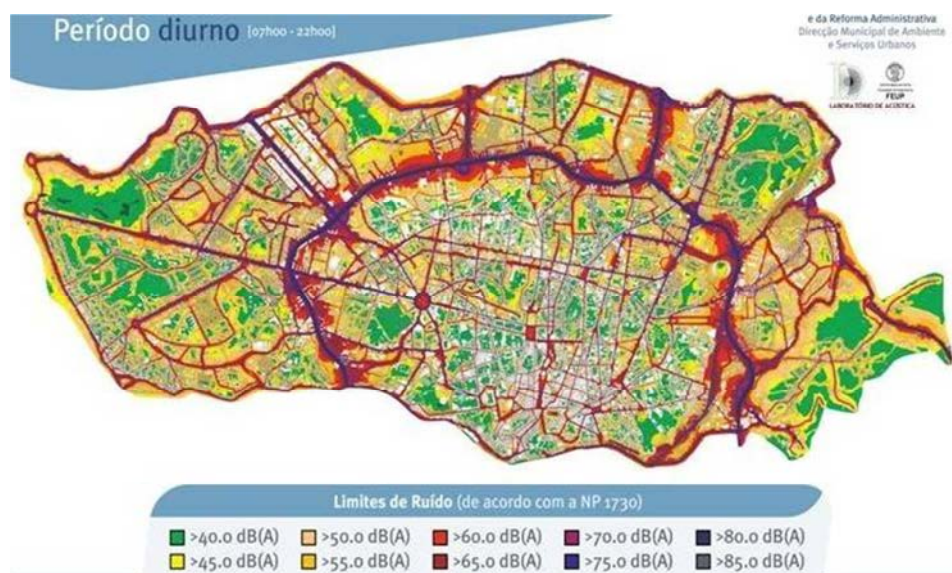


Fig. 4.9: Mapa do ruído do concelho do Porto (2005) para o período diurno, conforme RGR 2002 [34].

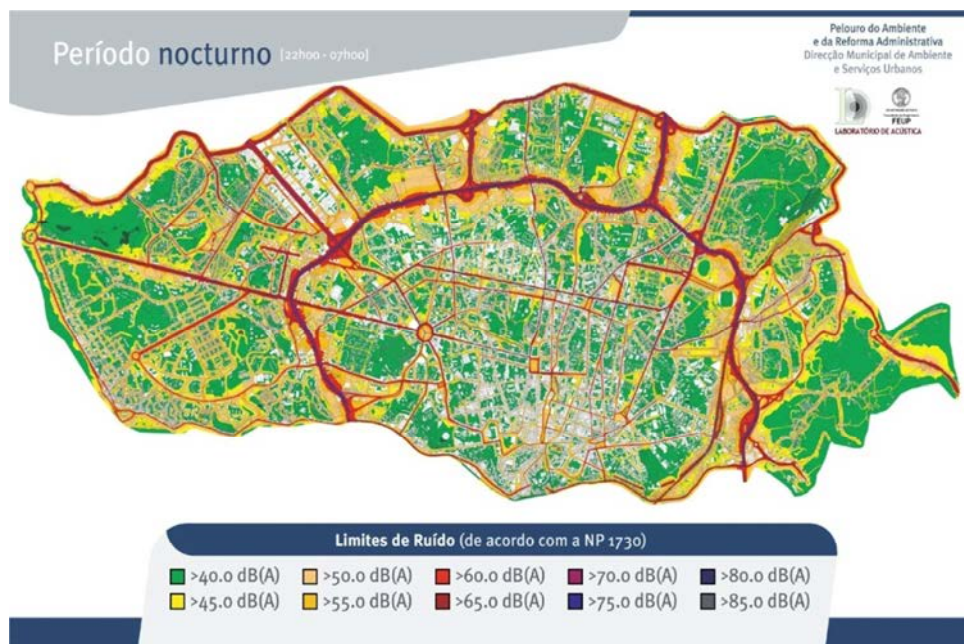


Fig. 4.10: Mapa do ruído do concelho do Porto (2005) para o período nocturno, conforme RGR 2002 [34].

A sua observação permite constatar que, como é esperado, é ao nível das principais vias de circulação rodoviária que os indicadores têm valores superiores aos indicados no RGR em termos de incomodidade.

Para o caso desta cidade estes valores são muito elevados em alguns pontos, chegando acima dos 80 dB(A) na Via de Cintura Interna (VCI) mesmo durante a noite. A via que mais se destaca pela negativa é mesmo a VCI, que descreve o anel interno do concelho e faz a ligação à margem sul e às auto-estradas do norte, ao longo da qual existem hospitais, escolas e habitações. Em oposição, verifica-se que existem locais no Porto com níveis de ruído idênticos aos de áreas rurais (espaços a verde) mesmo durante o dia (por exemplo na zona da Foz e na zona oriental do concelho).

4.2.2. MOBILIDADE NA CIDADE DO PORTO

Tal como se tem vindo a referir, o tráfego é a principal fonte de ruído nas cidades e nos meios urbanos. Além dos mapas de ruído, para o concelho do Porto existem também estudos sobre a mobilidade em transportes individuais [35].

Os transportes individuais, no ano 2000, representavam cerca de 50% das viagens que se faziam com destino ou origem nesta cidade. Para este ano, o número total de viagens realizadas nos dias úteis em transporte individual foi de cerca de 580 mil [35].

Em 2005, através do zonamento do concelho do Porto e da realização de inquéritos e da contagem em vários pontos na hora de ponta da manhã (das 7h30 às 9h30), o estudo sobre as deslocações em transportes individuais [35] obteve os dados constantes na fig. 4.11.

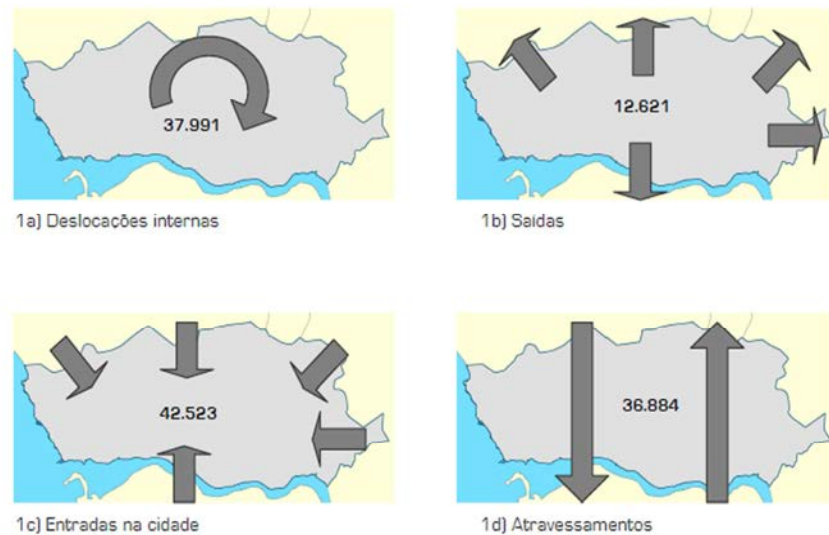


Fig. 4.11: Estimativa das deslocações na cidade do Porto entre as 7h30 e as 9h30 em 2005 [35].

Verifica-se que existe um desequilíbrio entre as entradas e as saídas. Tal pode dever-se à forte concentração de equipamentos sociais de nível superior, como estabelecimentos hospitalares e de ensino superior, e sugere uma polarização do Porto em relação às cidades vizinhas em matéria de emprego.

O volume total de movimentos internos à cidade (deslocações com origem e destino no Porto) é muito próximo ao de atravessamento da cidade. O modelo de afectação desenvolvido permite concluir que quase 90 % (≈ 33000) destes movimentos de atravessamento são efectuados através da Via de Cintura Interna [35].

As principais ligações entre o Porto e os concelhos vizinhos, como as pontes da Arrábida e do Freixo, o IC1, a EN13, o IC29 e a ligação às auto-estradas A3 e A4, estão representadas na fig. 4.12.

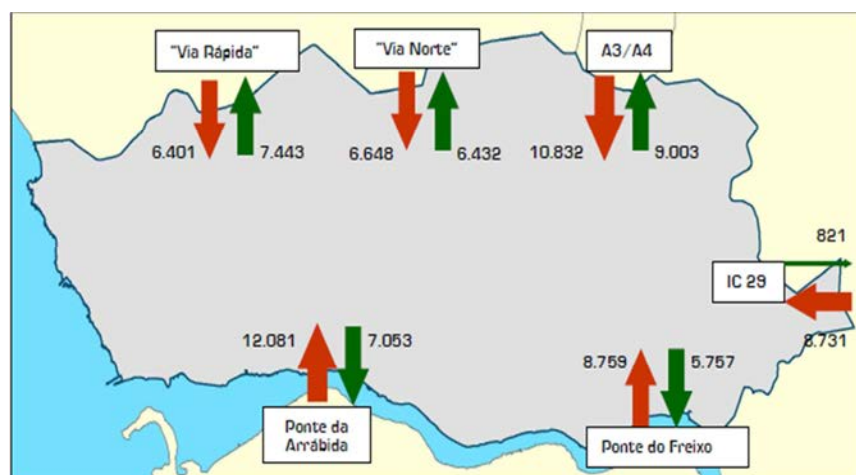


Fig. 4.12: Movimento nas principais entradas e saídas da cidade, entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].

Conclui-se, da análise desta figura, que a cidade do Porto apresenta um desequilíbrio de deslocações, como consequência da afluência de tráfego desmesurada face à evacuação registada. Este desequilíbrio faz-se notar em especial entre o Porto e o concelho de Gondomar (IC29).

O volume de deslocações em transporte individual na cidade do Porto traduz-se num total de 93 mil viagens em automóvel registadas no período da hora de ponta da manhã (entre as 7h30 e as 9h30) e que têm origem e/ou destino no Porto.

A fig. 4.13 é demonstrativa de como este tráfego se desenrola entre os diferentes sectores seleccionados no estudo referido [35].

As entradas de veículos automóveis na cidade ultrapassam os 42 mil veículos, dos quais 30 mil dirigem-se para a zona urbana central, área delimitada pela VCI. Neste período de tempo, o tráfego automóvel gerado é superior a 2.200 veículos por km^2 , com muito maior intensidade na zona central, facto revelador da densidade da circulação automóvel e da pressão de estacionamento que este fluxo acarreta (demonstrável pela fig. 4.14).

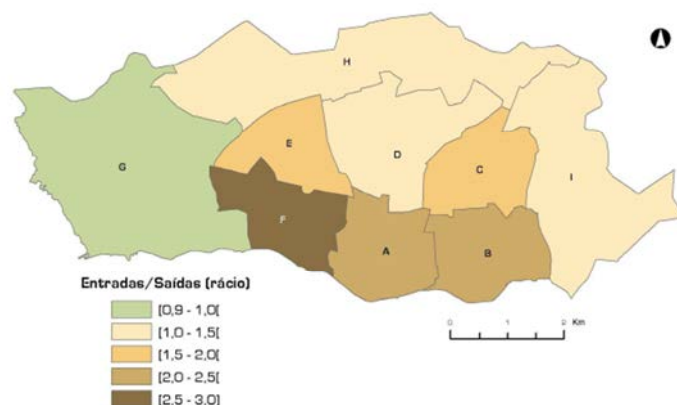


Fig. 4.13: Relação entre os movimentos com destino (entrada) e os movimentos com origem (saída), entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].

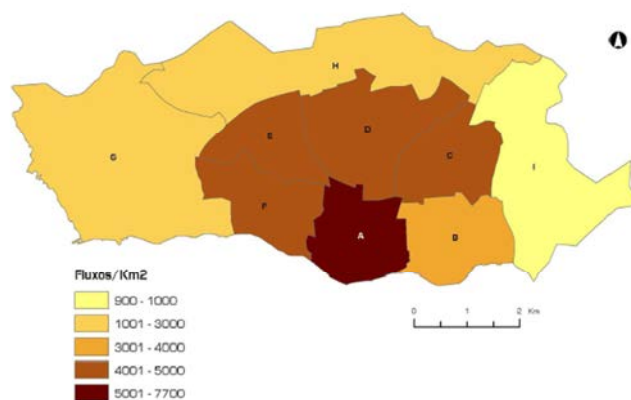


Fig. 4.14: Densidade de fluxos por km^2 , entre os dias 19 de Abril e 16 de Junho de 2005 para o período da manhã das 7:30 às 9:30 h [35].

Determinadas zonas da cidade constituem o destino de uma elevada proporção dos movimentos. É o caso, sobretudo, da ‘Baixa’ e do centro histórico, da envolvente à “Rotunda” e Avenida da Boavista e do pólo da Asprela.

4.2.3. “PORTO É A CIDADE DE TODOS OS RUÍDOS”

O presente trabalho é realizado tendo em vista um estudo comparativo e análise da evolução do ruído na cidade do Porto. Tal só é possível mediante a apresentação de alguns valores recolhidos previamente.

Em 6 de Maio de 1990, na revista do *Jornal de Notícias de Domingo* (JND), vinha publicado um artigo referente à cidade do Porto intitulado “*Porto - cidade feita de ruído. A surdez inevitável*” [2]. Na figura 4.15 pode-se ver a capa da referida publicação onde se destaca a problemática do ruído presente nesta cidade.

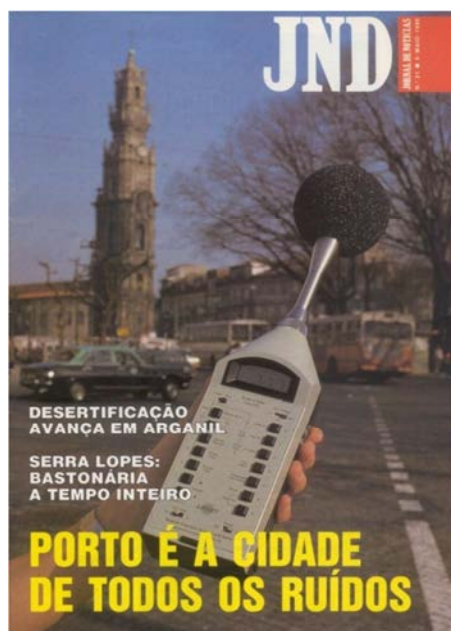


Fig. 4.15: Capa da revista do Jornal de Notícias de Domingo (JND) de 6 de Maio de 1990 [2].

Este artigo começa com uma breve referência sobre o impacto da surdez no mundo, onde se refere que em 1990 cerca de 250 milhões de pessoas estavam expostas a níveis sonoros elevados nos locais de trabalho (30% dos quais eram trabalhadores industriais). De seguida faz uma análise em termos do ambiente urbano e das implicações do ruído na vida das pessoas que habitam nas cidades, abordando a eficiência e a capacidade das diferentes câmaras da região norte (não só do Porto) de avaliarem e actuarem.

De acordo com o artigo [2], o Porto sofre do pesadelo chamado “*ruído ambiental*”, e, segundo dados da OCDE, na altura o Porto seria “*a cidade mais ruidosa da Europa, com 36,5% dos seus habitantes expostos, entre as 6 e as 22 horas, a mais de 70 decibéis*”.

Seguindo este ponto de vista, a reportagem avançava mais e divulgava os resultados de um estudo realizado na altura com o apoio do Laboratório de Acústica da FEUP. Neste, foram efectuadas medições em nove lugares diferentes (fig. 4.16), onde existia uma maior densidade de trânsito e sem ser em hora de ponta. Estes locais situam-se numa zona da cidade onde o

índice de construção é elevado e não existe uma organização urbanística clara e identificável. As medições realizaram-se no dia 20 de Março de 1990, correspondente a uma terça-feira, e tiveram lugar durante as 15h00 e as 17h30, evitando deste modo a hora de ponta. O quadro 4.2 apresenta os valores recolhidos nas diferentes medições realizadas.

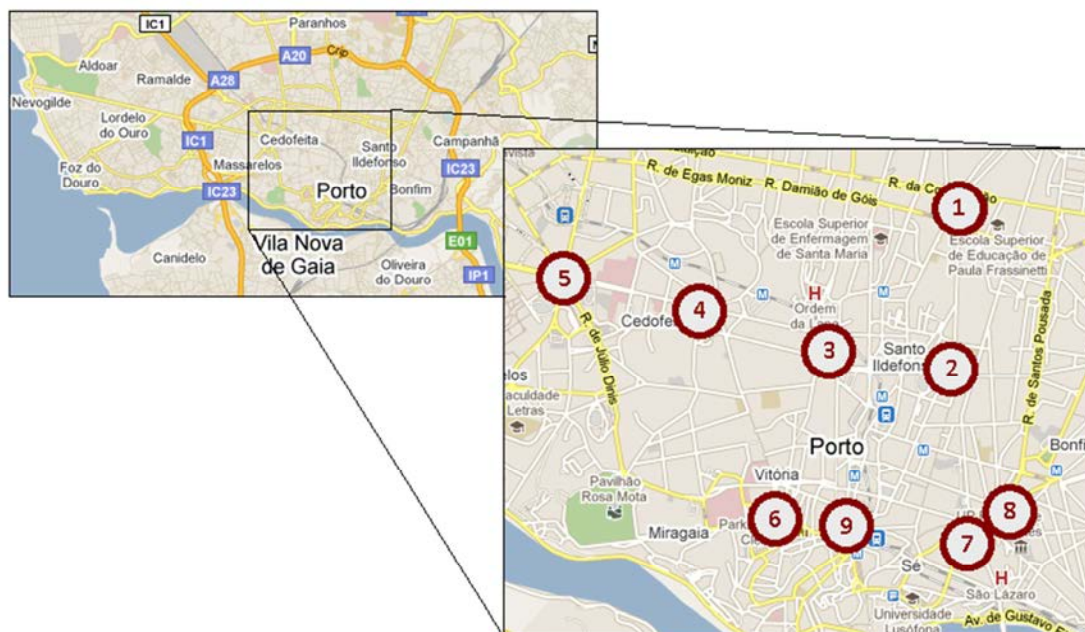


Fig. 4.16: Localização no mapa do Porto dos locais onde se realizaram as medições em 1990, seguindo a numeração apresentada no quadro 3.1 [adaptado de 36].

Quadro 4.2: Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto, a 20 de Março de 1990 entre as 15 e as 17:30 h [2].

Ponto	Local	L _{A10} dB	L _{A50} dB	L _{A90} dB
1	Praça Marquês de Pombal (esq. da Constituição)	72,2	66,2	62,2
2	R. Santa Catarina (esq. Gonçalo Cristóvão)	72,7	68,2	63,7
3	Praça da República	69,2	64,2	62,2
4	R. da Boavista (junto à Carvalhosa)	74,7	68,7	60,7
5	Rotunda da Boavista	73,2	68,2	66,7
6	Campo Mártires da Pátria	69,7	66,2	64,2
7	R. Rodrigues de Freitas (junto ao jardim de S. Lázaro)	68,3	64,2	60,2
8	R. D. João IV (passeio de S. Lázaro)	75,2	68,7	60,2
9	Praça da Liberdade (junto à estátua de D. Pedro IV)	68,2	64,2	60,7

A figura 4.17 apresenta os valores para o L_{A50} , que constitui em 1990 o parâmetro de controlo para a classificação dos locais para a implantação de edifícios⁷.

Os resultados recolhidos na altura indicavam que os valores médios registados eram considerados, de acordo com as tabelas internacionais, “incómodos” a partir de 67 dB(A) e “muito incómodos” a partir dos 71 dB(A).

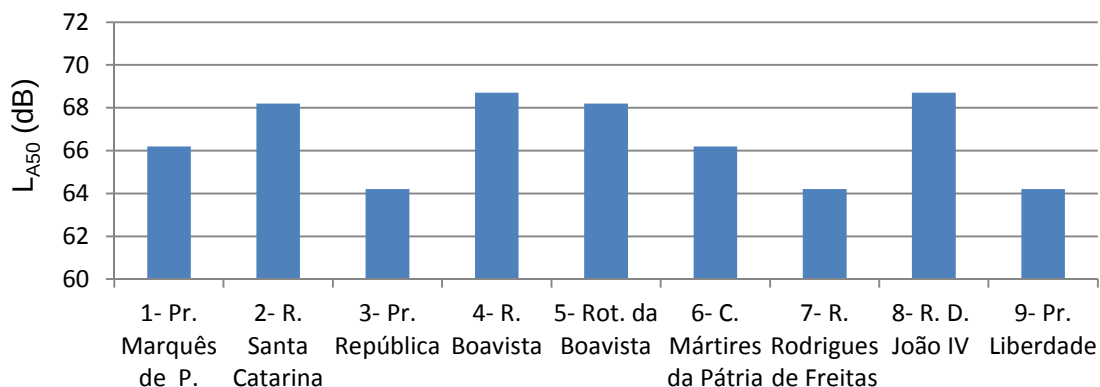


Fig. 4.17: Valores de L_{A50} recolhidos para os nove locais estudados em 1990.

Tal como se observa na figura 4.17 existiam no Porto muitas situações de incomodidade em 1990, ao qual não escapavam nem mesmo os jardins (caso do Jardim de S. Lázaro na R. D. João IV). Este facto levava a afirmar na altura que “*entre o real e o desejável, o Porto conhece um abismo*” [2].

4.2.4. “BARULHO JÁ «ENSURDECE» NA ROTUNDA DA BOAVISTA”

Em 10 de Junho de 1998, o JN apresentou um outro artigo sobre o Ruído no Porto intitulado: “*Barulho já «ensurdece» na rotunda da Boavista*” [37]. Este surgiu como continuação do artigo exposto anteriormente, incidindo sobre os mesmos lugares de 1990, embora o título possa sugerir que o foco deste estudo se centra na Rotunda da Boavista.

A entidade que realizou este estudo, tal como em 1990, foi o Laboratório de Acústica da FEUP. As medições realizaram-se numa sexta-feira, dia 8 de Maio de 1998, e tiveram lugar entre as 15h00 e as 17h30. Neste estudo foram recolhidos, para cada local, quatro valores correspondentes aos parâmetros L_{A10} , L_{A50} , L_{A90} e L_{Aeq} . Os resultados obtidos podem ser observados no quadro 4.3.

De acordo com a notícia, em 1998 o número de automóveis a circular no Porto era cerca do dobro de 1990, o que punha em questão a poluição sonora. Pelas medições constatou-se que o nível sonoro era pouco superior ao esperado, apontando-se na altura como possível causa justificatória as normativas legisladas com especial incidência nas motorizadas.

⁷ Consultar o ponto 2.5.3. para mais informações.

Quadro 4.3: Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto, a 8 de Maio de 1998 entre as 15 e as 17:30 h [37].

Ponto	Local	L _{A10} dB	L _{A50} dB	L _{A90} dB	L _{Aeq} dB
1	Praça Marquês de Pombal (esq. da Constituição)	72,2	66,7	63,7	68,6
2	R. Santa Catarina (esq. Gonçalo Cristóvão)	76,2	69,2	60,2	72,7
3	Praça da República	69,7	65,2	63,7	66,1
4	R. da Boavista (junto à Carvalhosa)	74,7	71,2	68,2	72,1
5	Rotunda da Boavista	75,2	70,2	67,7	72,1
6	Campo Mártires da Pátria	77,2	69,7	60,2	74,5
7	R. Rodrigues de Freitas (junto ao jardim de S. Lázaro)	69,2	65,2	58,2	66,3
8	R. D. João IV (passeio de S. Lázaro)	72,7	69,2	66,2	70,6
9	Praça da Liberdade (junto à estátua de D. Pedro IV)	78,2	71,7	68,2	73,5

No final do artigo, publicavam-se algumas conclusões sobre a evolução do ruído no Porto para os locais considerados, afirmando-se que para a maior parte dos lugares os valores eram equivalentes ou ligeiramente superiores aos anteriores de 1990.

A figura 4.18 apresenta um gráfico que compara os valores obtidos para o L_{A50} e demonstram a evolução que ocorreu no espaço dos oito anos que separam as duas medições. Por se tratar da apresentação dos dados existentes, limita-se à reprodução dos resultados alcançados deixando-se para o capítulo 5 a discussão e comparação pormenorizada destes valores.

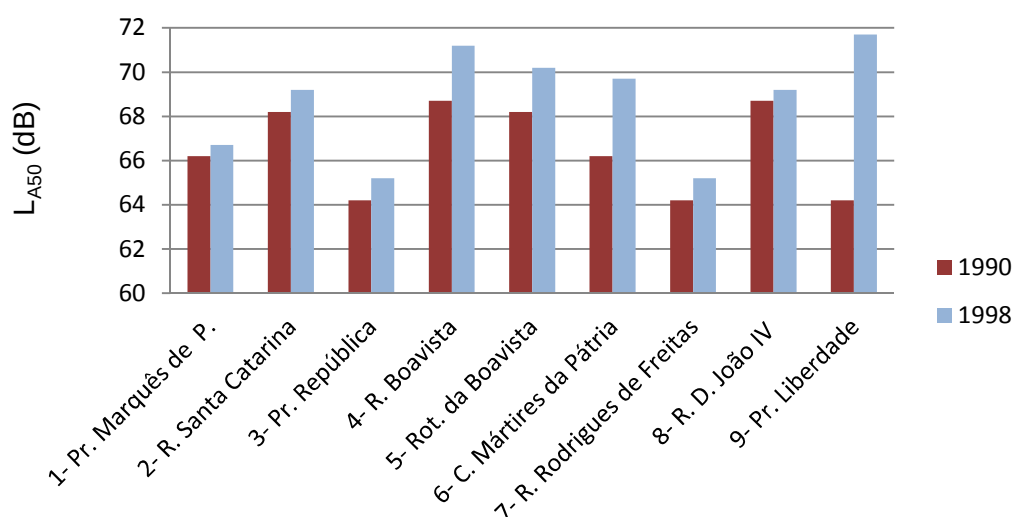


Fig. 4.18: Comparação dos valores do L_{A50} entre 1990 e 1998.

Dos valores apresentados é dado especial ênfase à Rotunda da Boavista e à Praça da Liberdade, onde se verificaram aumentos consideráveis do nível sonoro ambiente.

Deve-se destacar que face ao regulamento vigente na altura (RGR de 1987) os locais estudados em 1998 eram todos eles classificados de *ruidosos* ($65 \text{ dB} < L_{A50} \leq 75 \text{ dB}$), o que não acontecia em 1990. Verifica-se ainda que face aos valores obtidos não existiam locais classificados de *muito ruidosos* ($L_{A50} > 75 \text{ dB}$).

Segundo o artigo, reconheciam-se alguns factores que podem ter influenciado os resultados recolhidos. No que respeita ao tempo de medição, este foi de 1 minuto apenas, o que não torna o valor representativo de todos os fenómenos que podem influenciar o ruído. Existe ainda o facto de em 1998 as medições terem sido realizadas no princípio do mês enquanto em 1990 foram no fim, o que poderia ter alguma influência (em termos financeiros) no tráfego dentro das cidades.

4.2.5. RUÍDO NA VCI

A Via de Cintura Interna (VCI, também chamada IC23) é uma auto-estrada em forma de anel que contorna a zona central dos núcleos urbanos do Porto e de Vila Nova de Gaia, numa extensão total de 21 km, tal como se pode observar na figura 4.19 [38].

No seu trajecto, a VCI apresenta normalmente três vias de rodagem em cada sentido, com separadores centrais em betão do tipo "New Jersey" e separadores laterais metálicos (*rails*).

A VCI dispõe de radares de controlo de velocidade limitada a 90 km/h (inoperacionais em 2011), câmaras de videovigilância e painéis de protecção acústica em alguns troços.

Esta via não foi planeada e construída como um projecto único de raiz. O seu nascimento, em termos ideológicos, ocorreu em 1947 por Antão de Almeida Garrett onde era concebida como uma *Avenida de Cintura* [38].



Fig. 4.19: Localização e extensão da VCI (IC23) pelos concelhos do Porto e Vila Nova de Gaia [38].

Em 1962, é delineada a Via de Cintura Interna por Robert Auzelle, não com o perfil de avenida urbana mas de via rápida. No lado do Porto, esta tinha início na Ponte da Arrábida e terminava na Avenida Fernão de Magalhães. A sua construção, considerando apenas a parte a norte do rio Douro, passou pelas seguintes etapas [38]:

- 1963: inauguração do primeiro troço desde a Ponte da Arrábida até à rotunda de Francos, onde liga à Via do Marechal Carmona que dá acesso ao porto de Leixões (Avenida AEP);
- 1989: prolongamento da VCI com a inauguração do tramo entre Francos e o Amial;
- 1994: prolongamento até às Antas;
- 1995: prolongamento até à Ponte do Freixo.

No lado de Vila Nova de Gaia a VCI demorou mais tempo a ser construída. Parte desta via aproveita o troço da A1 entre a ponte da Arrábida e Coimbrões, aberto em 1963, e o restante troço do anel só foi completamente terminado em 8 de Janeiro de 2007, com a conclusão do tramo entre a Ponte do Freixo e Coimbrões, junto ao Gaia Shopping [38].

Em 1990 a VCI tinha ainda uma reduzida expressão, e como tal não se fizeram medições neste local. Em 1998, para a notícia referida no ponto anterior, o Laboratório de Acústica da FEUP também efectuou um conjunto de medições em seis pontos junto à VCI, que se situam num troço entre o nó de Francos e a Av. Fernão de Magalhães (figura 4.20), para avaliar os níveis sonoros que se faziam sentir nos lugares mais próximos desta fonte ruidosa. Os resultados são os constantes no quadro 4.4 e na figura 4.21.

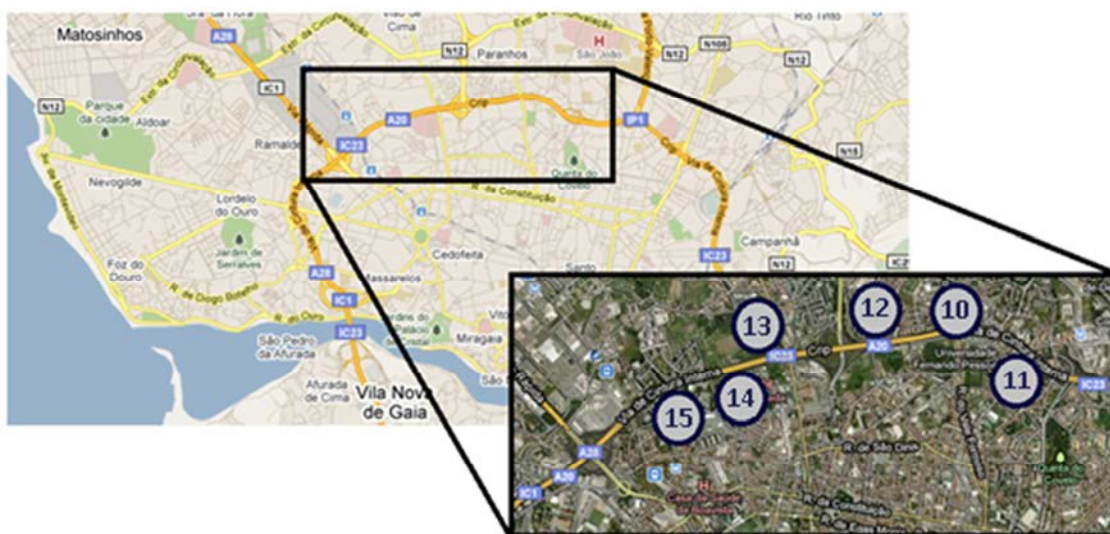


Fig. 4.20: Localização no mapa do Porto dos seis locais onde se realizaram as medições junto à VCI em 1998, seguindo a numeração apresentada no quadro 4.3 [adaptado de 36].

As medições realizadas seguiram os mesmos princípios apresentados no estudo anterior e tiveram lugar a uma sexta-feira, no dia 29 de Maio de 1998. Os resultados mostram como o ruído produzido pelos veículos motorizados pode ser incomodativo ou até perigoso para a saúde das pessoas (existem locais com $L_{A50} > 75$ dB).

É de notar que os lugares onde se realizaram as medições correspondem a sítios onde habitam pessoas, existem instituições de ensino e de saúde ou até a locais de lazer o que denota a gravidade que esta situação representa em termos de incomodidade e qualidade de vida.

Quadro 4.4: Níveis de Ruído Ambiental junto à VCI, a 29 de Maio de 1998 entre as 15 e as 17:30h [37].

Ponto	Local	L _{A10} dB	L _{A50} dB	L _{A90} dB	L _{Aeq} dB
10	R. Leonardo Coimbra	79,7	77,7	73,2	78,8
11	APPC*	74,7	72,7	70,7	73,0
12	Bairro do Regado	73,7	72,2	70,7	72,3
13	Parque de Campismo da Prelada**	79,7	77,7	75,7	78,1
14	Hospital da Prelada	72,2	70,7	66,7	70,4
15	EB 2,3 Maria Lamas***	74,7	71,7	70,2	72,4

* Associação Portuguesa de Paralisia Cerebral, na Rua Delfim Maia.

** Medição realizada na Rua do Monte dos Burgos, perto da passagem inferior junto à VCI.

*** Situada na Travessa da Prelada.

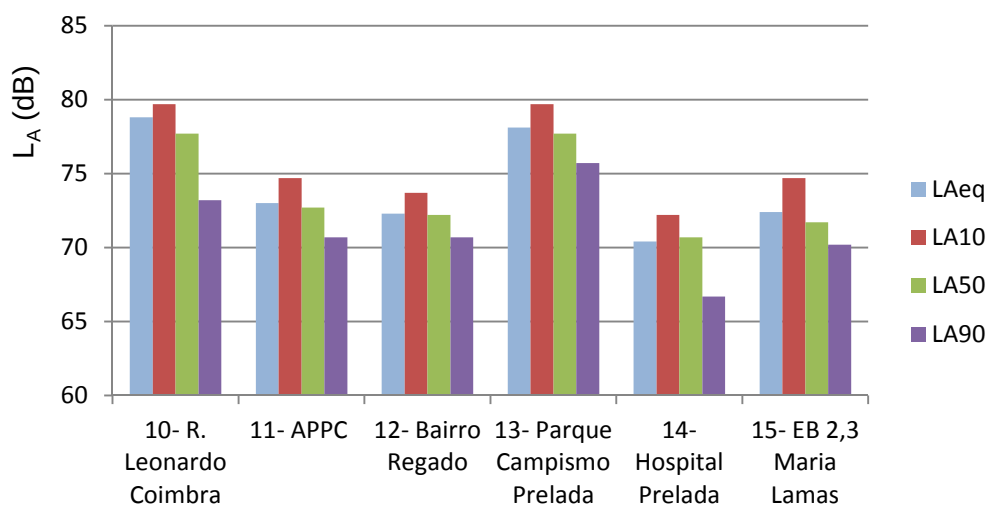


Fig. 4.21: Valores obtidos nas medições de 1998 junto da VCI [37].

5

MEDIÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NOS ÚLTIMOS VINTE ANOS NA CIDADE DO PORTO

5.1.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

5.1.1.1. Contextualização

Neste primeiro caso de análise procede-se ao estudo da evolução do ruído de origem urbana na cidade do Porto, tendo por base os resultados das medições de 1990 e 1998⁸. Os locais de estudo são descritos de acordo com a ordem com que se realizaram as medições e que está em conformidade com a numeração apresentada no quadro 4.1.

Por se tratar de locais em meio urbano consolidado, admitiu-se como critério que as medições fossem realizadas apenas nos dias úteis da semana. O horário estabelecido para a realização das medições limitou-se ao período das 15h00 às 18h00 de forma a evitar a hora de ponta.

As medições realizaram-se nos seguintes dias:

- Locais 1 a 4 - 1 de Abril de 2011 (sexta-feira);
- Locais 5 a 8 - 4 de Abril de 2011 (segunda-feira);
- Local 9 - 5 Abril de 2011 (terça-feira).

A necessidade de utilizar três dias, em oposição às medições de 1990 e 1998, deveu-se ao facto de não se limitar a análise em cada ponto a apenas um minuto, tentando deste modo tornar os valores mais abrangentes e fidedignos no que diz respeito aos fenómenos sonoros possíveis de ocorrer nos diferentes lugares⁹.

As condições meteorológicas dos dias em que se fizeram as medições estão descritas no quadro 5.1. Os valores recolhidos são provenientes do Instituto Meteorológico para a estação meteorológica do aeroporto do Porto, em Pedras Rubras [39]. Não há registo histórico das condições meteorológicas em 1990 e 1998 e por isso não se pode conjecturar se existe correspondência entre as diferentes situações. O objectivo da apresentação destes valores consiste em demonstrar que as medições realizaram-se nas condições adequadas e que não existem diferenças significativas entre os dias analisados. Não se procurou obter os valores exactos para cada local, pois o ambiente exterior apresenta muitas variáveis que interferem na

⁸ Ver pontos 4.2.3 e 4.2.4.

⁹ Note-se que de acordo com o Instituto do Ambiente, actual Agência Portuguesa do Ambiente, as medições para o ruído exterior devem ser de pelo menos 30 min, podendo-se medir pelo menos 10 minutos entre cada amostra [22].

propagação do ruído e a sua monitorização demonstraria ser exagerada face aos objectivos pretendidos.

Quadro 5.1: Condições meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
1/4/2011	6ª feira	Céu Limpo	26	56	2,3
4/4/2011	2ª feira	Céu Limpo	18	54	3,7
5/4/2011	3ª feira	Céu Limpo	25	45	3,5

5.1.1.2. Ponto 1- Praça do Marquês de Pombal

Na figura 5.1 pode-se observar a localização do ponto 1, na Praça do Marquês de Pombal, situada na freguesia de Santo Ildefonso, e do local de medição na esquina com a Rua da Constituição.

A Praça do Marquês de Pombal é constituída por um jardim central (fig. 5.3) que ocupa o quarteirão e situa-se numa área urbana consolidada com um conjunto de edifícios na sua envolvente, incluindo a Igreja Sr.^a da Conceição. As infra-estruturas, ao nível dos meios de transporte, são diversificadas encontrando-se a estação do metro, paragens de autocarro e de táxis. É um local onde se encontram pessoas, quer de passagem quer no jardim a descansar e conversar. O trânsito apresenta-se normalmente compacto mas fluído, como se pode conjecturar através da figura 5.2.

Em termos do Plano Director Municipal (PDM) do Porto [40], como se observa na figura 5.1 na carta das condicionantes, esta zona está definida como sendo *mista* (amarelo).



Fig. 5.1: Localização do ponto 1 na Praça do Marquês de Pombal na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da direita, referente à Carta das Condicionantes do Porto, com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona *mista*) [41].



Fig. 5.2: Medição na Praça do Marquês de Pombal (Ponto 1), vista para a Rua da Constituição [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].



Fig. 5.3: Medição na Praça do Marquês de Pombal (Ponto 1), vista para o jardim [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].

5.1.1.3. Ponto 2 - Esquina da Rua de Santa Catarina com a Rua de Gonçalo Cristóvão

A Rua de Santa Catarina é extensa, com 1482 m de comprimento [42], e encontra ao longo do seu percurso vários tipos de circulação, podendo ser apenas para peões ou com circulação de veículos num ou em dois sentidos.

Na esquina em estudo, situada na freguesia de Santo Ildefonso, representada na figura 5.4 com o número 2, os veículos que vêm pela Rua de Santa Catarina (na figura, de baixo para cima) em sentido único, a partir deste ponto passam a circular numa via de dois sentidos, podendo mudar de direcção para a Rua de Gonçalo Cristóvão com a qual se entronca. O trânsito apresentava-se fluído aquando da medição.



Fig. 5.4: Localização do ponto 2 na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da carta das condicionantes do Porto (em cima à direita), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona mista; azul: zona sensível; branco: zona não classificada) [41].

Em termos arquitectónicos, a Rua de Santa Catarina tem um aspecto tradicional, com vias estreitas e edifícios com uma cêrcea de 3 a 4 pisos, enquanto a Rua de Gonçalo Cristóvão é uma rua larga com um espaço central ajardinado e uma mistura de edifícios antigos com outros mais recentes de vários pisos de altura (figuras 5.5 e 5.6). Em termos do estado de conservação dos edifícios, em especial os mais antigos apresentam-se de forma geral com aspecto degradado ou

em processo de reabilitação. Muitos deles estão desabitados e existem lojas de comércio fechadas.

O piso é de “paralelos” e existem lugares para estacionamento com parquímetros. Situam-se nesta esquina semáforos com sinais sonoros nas passadeiras para os peões com dificuldades visuais.

O PDM do Porto [40] classifica o local onde se efectuou a medição como sendo uma zona *mista* (amarelo). Observando a figura 5.4, destaca-se que a zona da esquina oposta à do local de medição não está classificada (branco), e que na proximidade existe uma zona *sensível* (azul).



Fig. 5.5: Medição no local 2, vista para a Rua Gonçalo Cristóvão e sede do ACP [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].



Fig. 5.6: Medição no local 2, vista para a Rua Santa Catarina [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].

5.1.1.4. Ponto 3 - Praça da República (Jardim Teófilo Braga)

O ponto 3 situa-se na Praça da República (fig. 5.7) na freguesia de Cedofeita. Existem semelhanças entre este local e a Praça do Marquês de Pombal (figura 5.1), distinguindo-se pela sua dimensão, com um jardim central consideravelmente maior (fig. 5.8), e pela circulação dos veículos.

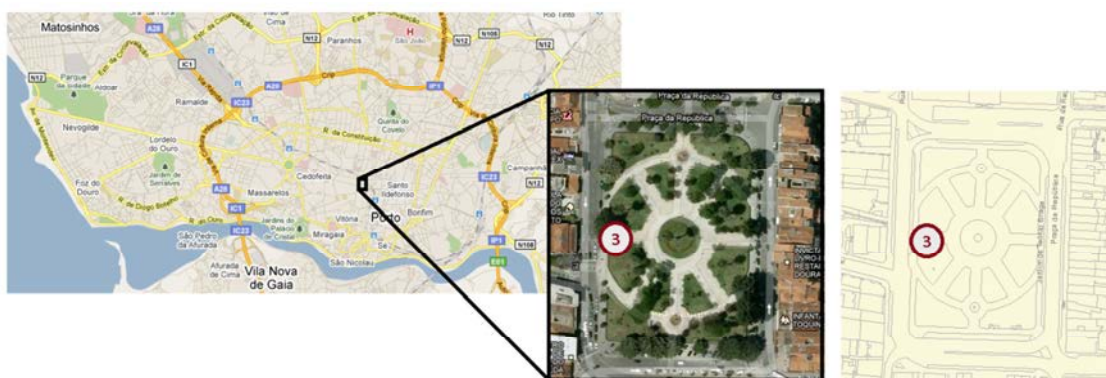


Fig. 5.7: Localização do ponto 3 na Praça da República na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto (à direita), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona *mista*) [41].

No dia em que se efectuaram as medições o trânsito apresentava-se fluído, sendo mais concentrado em duas das ruas, nomeadamente na continuação da Rua da Lapa (na fig. 5.7 é a rua do lado esquerdo da praça) e da Rua de Gonçalo Cristóvão (na fig. 5.7 é a rua inferior da praça). Os veículos circulam à volta da praça no sentido dos ponteiros do relógio.

Junto do local de medição, assinalado com o número 3 (fig. 5.7), existem semáforos e uma paragem de autocarros (fig. 5.9).

Em termos do edificado, à semelhança dos restantes locais estudados, trata-se de uma zona urbana consolidada, em que se destaca o quartel de Santo Ovídio (sede da Região Militar do Norte).

No que diz respeito à zona, o PDM classifica-a como sendo *mista* (figura 5.7 à direita).



Fig. 5.8: Medição na Praça da República (Ponto 3), vista para o jardim [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].



Fig. 5.9: Medição na Praça da República (Ponto 3), vista para o trânsito rodoviário [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].

5.1.1.5. Ponto 4 - Rua da Boavista (junto à Rua da Carvalhosa)

O ponto 4 localiza-se na esquina entre a Rua da Boavista e a Rua da Carvalhosa, actualmente designada Rua Aníbal Cunha (figura 5.10). Estando localizada na freguesia de Cedofeita, a Rua da Boavista tem início na Praça da República e prolonga-se quase até à Rotunda da Boavista.

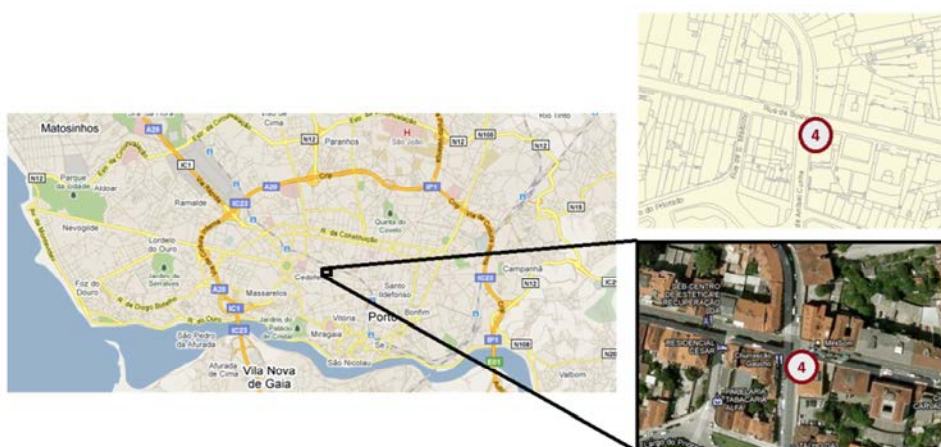


Fig. 5.10: Localização do ponto 4 na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima), com a classificação relativa ao ruído (amarelo: zona *mista*) [41].

O ponto 4 situa-se num cruzamento entre duas ruas com características similares: sentido único, estreitas e com edificado antigo com uma cêrcea até 4 pisos (figuras 5.11 e 5.12). Na altura em que se realizaram as medições o trânsito apresentava-se compacto mas fluído.

De acordo com o mapa das condicionantes, este local situa-se numa zona classificada como sendo *mista* (figura 5.10).



Fig. 5.11: Medição no ponto 4, vista para a rua da Boavista [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].



Fig. 5.12: Medição no ponto 4, vista a partir da rua Aníbal Cunha [fotografia de A. Costa, 1/4/2011].

5.1.1.6. Ponto 5 - Rotunda da Boavista (Praça de Mouzinho de Albuquerque)

O ponto de medição número 5 situa-se na Rotunda da Boavista (Praça de Mouzinho de Albuquerque), na direcção da Rua da Boavista (fig. 5.14). Esta rotunda encontra-se nos limites das freguesias de Massarelos e Cedofeita, constituindo a maior praça da cidade do Porto com uma área de 31416 m² [42]. Com uma posição central na cidade (figura 5.13) e servida pelas principais avenidas do Porto, este local constitui um dos sítios por onde passam mais veículos na cidade.

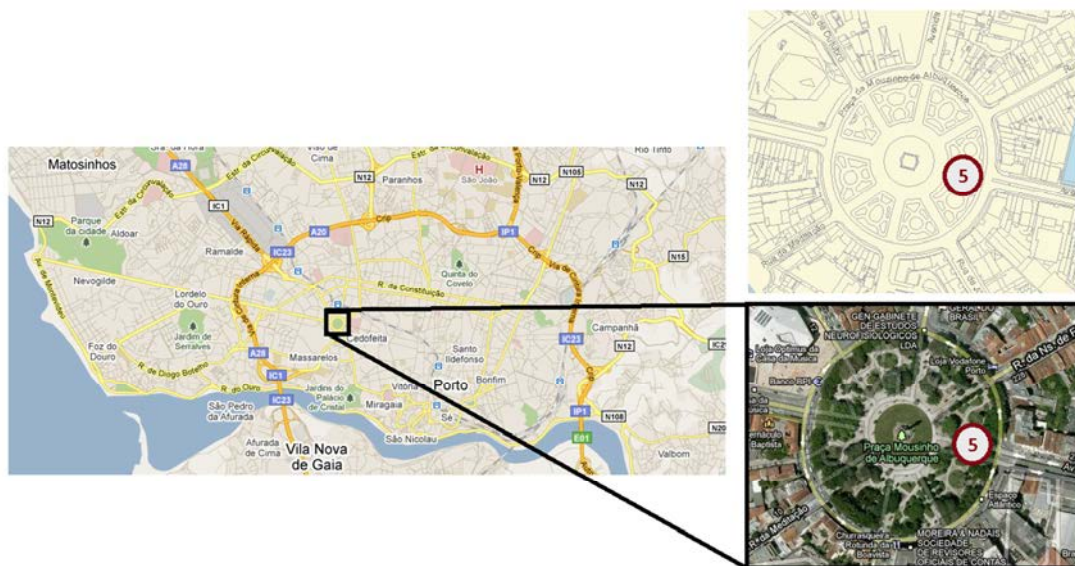


Fig. 5.13: Localização do ponto 5 na Rotunda da Boavista na cidade do Porto [adaptado de 36]. Classificação segundo a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima) como zona *mista* (amarelo) [41].

Na sua área e proximidade, encontram-se vários locais de interesse e de passagem que vão desde a Casa da Música, o centro comercial do Bom Sucesso, o Hospital Militar, as estações de serviços de transporte público como o metro e os autocarros da STCP, bem como o seu jardim que ocupa o espaço central (fig. 5.15).

A via que circunda esta praça é constituída por três faixas com semáforos, passadeiras (actualmente em cubos de granito) e sinalização sonora para ajudar os peões com dificuldades visuais. Aquando da medição o trânsito apresentava-se compacto mas fluído (fig. 5.14).

Em termos de classificação da zona quanto à sensibilidade ao ruído (fig. 5.13), a planta das condicionantes presente no PDM do Porto classifica-a como sendo *mista*.



Fig. 5.14: Medição no ponto 5 na Rotunda da Boavista, vista para a Rua da Boavista [fotografia do autor, 4/4/2011].



Fig. 5.15: Medição no ponto 5 na Rotunda da Boavista, vista para o jardim [fotografia do autor, 4/4/2011].

5.1.1.7. Ponto 6 - Campo dos Mártires da Pátria

O Campo dos Mártires da Pátria fica situado na freguesia da Vitória. O ponto 6 localiza-se junto à antiga Faculdade de Ciências, actual Reitoria da Universidade do Porto (figura 5.16).

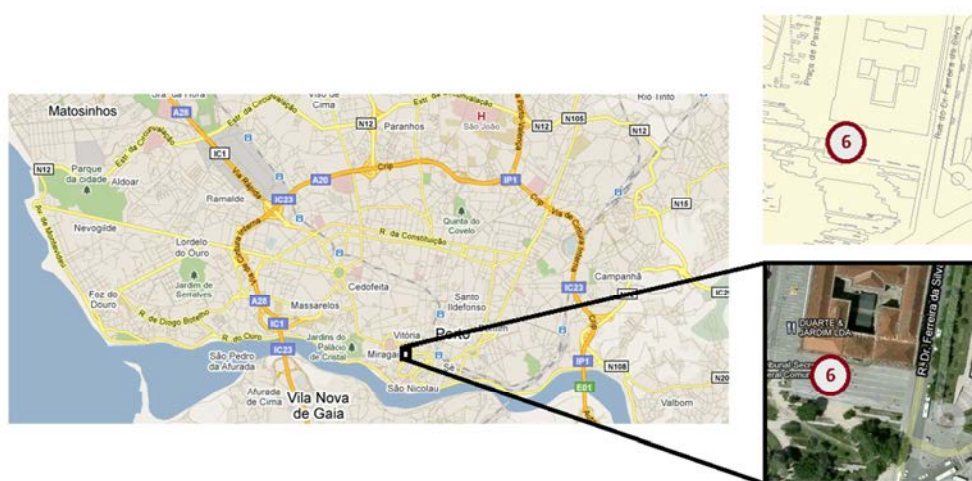


Fig. 5.16: Localização do ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria na cidade do Porto [adaptado de 36].
Classificação segundo a Carta das Condicionantes do Porto (à direita em cima) como zona *mista* (amarelo) [41].

Em 1990, este local estava sujeito à passagem de veículos (figura 5.17) mas em 2001, após uma intervenção neste espaço e no jardim circundante, a rua foi extinta (figura 5.18). Este foi possivelmente o local, de entre todos os que se estudaram ao longo desta dissertação, que sofreu mais alterações em termos de ruído.

Actualmente o Campo dos Mártires da Pátria constitui um espaço de lazer onde predomina o ruído de origem “natural” sendo ligeiramente perturbado pelo ruído dos veículos a circular junto à Cordoaria e das pessoas a caminhar e a conversar.

De acordo com o PDM e a planta das condicionantes, este espaço situa-se numa zona *mista* (figura 5.16).



Fig. 5.17: Ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria em 1990 [2].



Fig. 5.18: Medição no ponto 6 no Campo dos Mártires da Pátria [fotografia do autor, 4/4/2011].

5.1.1.8. Pontos 7 e 8 - Jardim de S. Lázaro

Junto ao Jardim de S. Lázaro realizaram-se duas medições, uma na Rua Rodrigues de Freitas e outra na esquina entre a Rua D. João IV e o Passeio de S. Lázaro (figura 5.19, respectivamente pontos 7 e 8), ambas na freguesia de Santo Ildefonso.

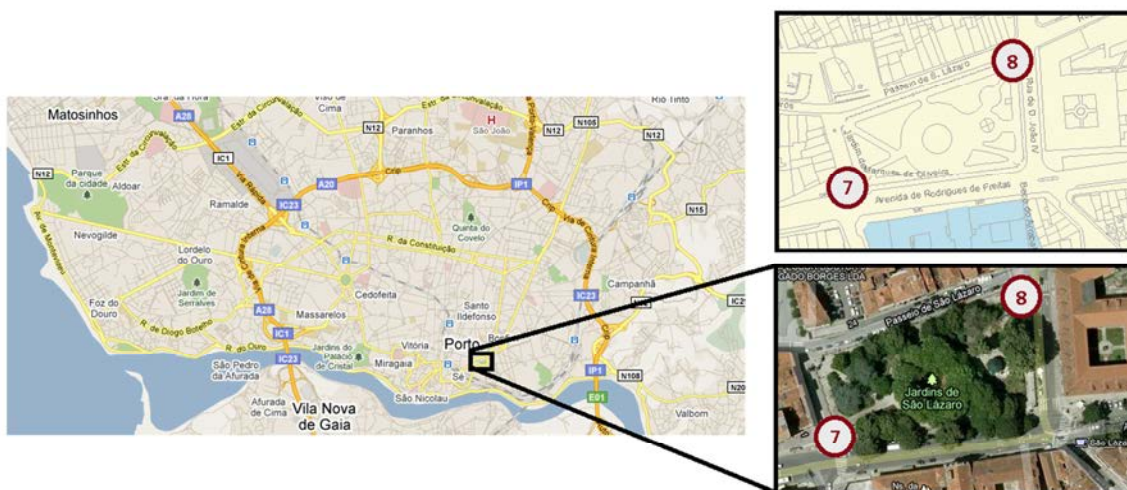


Fig. 5.19: Localização do Jardim de S. Lázaro na cidade do Porto e dos pontos 7 e 8 onde se realizaram as medições [adaptado de 36]. Destaque para a imagem referente à Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto à sensibilidade ao ruído (zona *mista* com proximidade de zona *sensível*) [41].

Este jardim é o mais antigo da cidade do Porto, datado de 1834 [42]. É um espaço onde se encontram pessoas a conversar e a descansar sob a sombra proporcionada pelas árvores.

Nas suas proximidades encontram-se a Faculdade de Belas Artes, a Biblioteca Municipal do Porto e o antigo Convento de S. Lázaro, actual Colégio de Nossa Senhora da Esperança (visível na figura 5.21).

À semelhança de outros locais no centro do Porto, na envolvente deste jardim muitos dos edifícios apresentam-se com aspecto degradado e uma parte considerável deles encontram-se desabitados.

Os locais onde se situam os dois pontos distinguem-se pelo trânsito rodoviário. Como se pode observar pelas figuras 5.20 a 5.23, o ponto 7 situa-se no passeio frente à Rua Rodrigues de Freitas enquanto o 8 localiza-se na esquina entre a Rua D. João IV e o Passeio de S. Lázaro. Tanto num como noutro existem semáforos e passadeiras com sinais sonoros. O tráfego apresentava-se, na altura das medições, fluído em ambos os lugares, mas mais compacto no 7.

O PDM [40] do Porto classifica esta zona como sendo *mista*, com a excepção do local onde se situa o antigo Convento de S. Lázaro que se classifica como *sensível* (fig. 5.19).



Fig. 5.20: Medição no ponto 7, vista para a Rua Rodrigues de Freitas [fotografia do autor, 4/4/2011].

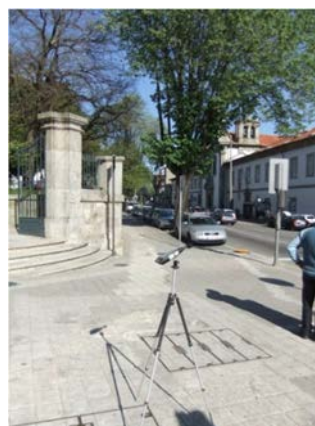


Fig. 5.21: Medição no ponto 7, vista para o Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].



Fig. 5.22: Medição no ponto 8, entrada NE do Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].



Fig. 5.23: Medição no ponto 8, vista para o Jardim de S. Lázaro [fotografia do autor, 4/4/2011].

5.1.1.9. Ponto 9 - Praça da Liberdade

Na Praça da Liberdade, situada na freguesia de Santo Ildefonso, mediu-se o nível sonoro no ponto assinalado com o número 9 na figura 5.24. Esta praça situa-se na chamada “sala de visitas” da cidade do Porto [42], onde se avista a Câmara Municipal ao fundo da Avenida dos Aliados (fig. 5.25) e se localizam algumas das sedes portuenses dos grupos financeiros e bancos do país. O PDM [40] do Porto classifica esta zona como sendo *mista*.

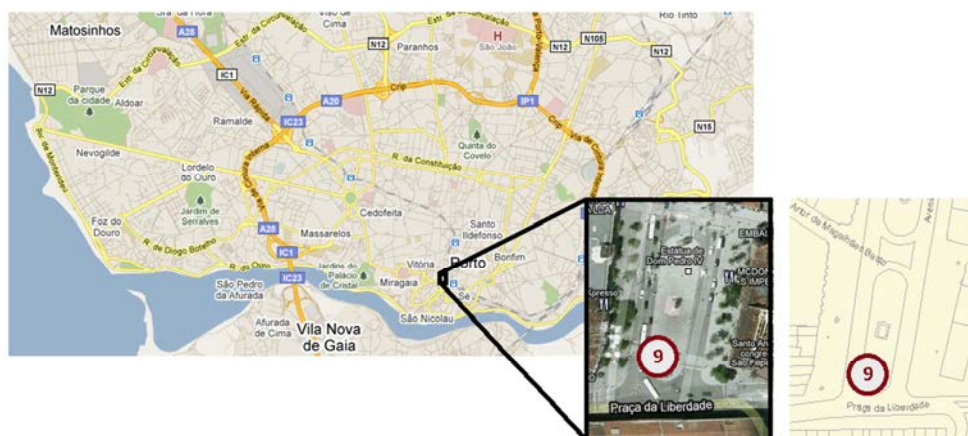


Fig. 5.24: Localização do ponto 9 na Praça da Liberdade na cidade do Porto [adaptado de 36]. Destaque para a Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (zona *mista*) [41].

Em termos arquitectónicos, os edifícios são de granito, com uma cércea de 4 a 5 pisos (figura 5.27), muitos deles coroados de lanternins e cúpulas. Até meados de 2006 o espaço central da avenida era ajardinado [42], passando desde então a estar completamente calcetado por cubos de granito (figura 5.25).



Fig. 5.25: Avenida dos Aliados antes (esquerda) e depois (direita) da intervenção de 2006 [43].

As ruas, que eram asfaltadas, passaram a estar também calcetadas com cubos e existe a sinalética normal com os semáforos, as passeadeiras e os sinais sonoros que se encontram espalhados pela cidade. Junto ao local de medição o trânsito apresentava-se, aquando da medição, compacto mas fluído.

No edifício em frente ao ponto de medição, parcialmente visível na figura 5.26, estavam a decorrer algumas obras, resultantes da reconversão de um antigo edifício no futuro Hotel Intercontinental, mas que não se demonstravam ruidosas por se encontrar notoriamente só em fase de acabamentos.



Fig. 5.26: Medição na Praça da Liberdade no ponto 9, vista para a Rua dos Clérigos [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.27: Medição na Praça da Liberdade no ponto 9, vista para a Avenida dos Aliados [fotografia do autor, 5/4/2011].

5.1.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a descrição pormenorizada dos locais de estudo procede-se à apresentação dos resultados obtidos nas sucessivas medições e que constam no quadro 5.2 e na figura 5.28.

No quadro 5.2 apresentam-se ainda outras características como a duração e a hora em que se realizaram as medições.

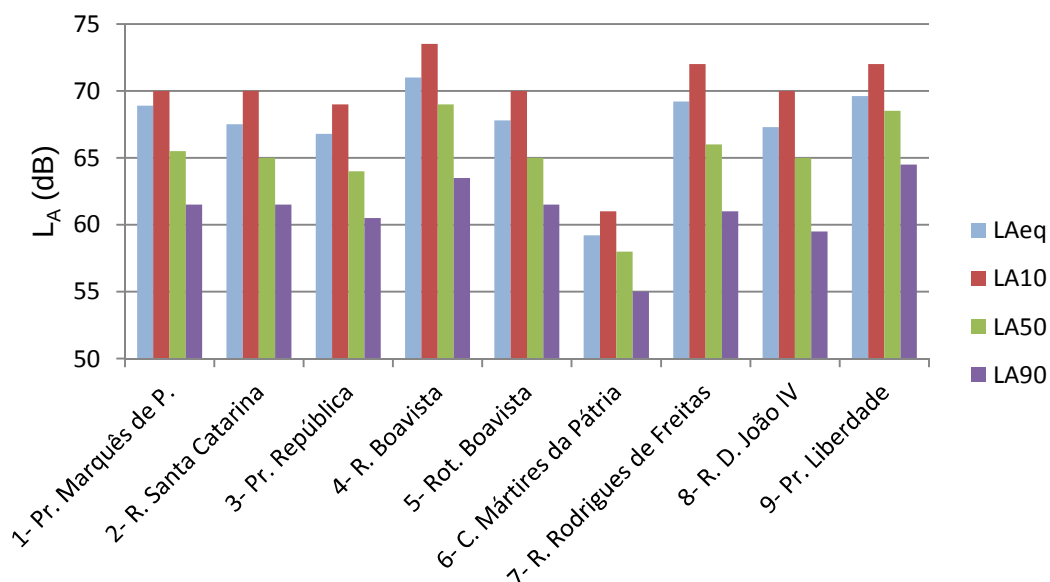


Fig. 5.28: Valores resultantes das medições realizadas nos nove pontos no centro da cidade do Porto.

Quadro 5.2: Valores obtidos nas medições de 2011 nos locais designados de 1 a 9, situados no centro da cidade do Porto.

Pt	Local	Hora	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
				L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL _A *
1	Pr. Marquês de Pombal	16h04	16	68,9	70,0	65,5	61,5	8,5
2	R. Santa Catarina	16h36	15	67,5	70,0	65,0	61,5	8,5
3	Pr. da República	17h07	17	66,8	69,0	64,0	60,5	8,5
4	R. da Boavista	17h37	15	71,0	73,5	69,0	63,5	10,0
5	Rotunda da Boavista	15h21	17	67,8	70,0	65,0	61,5	8,5
6	Campo Mártires da Pátria	16h18	15	59,2	61,0	58,0	55,0	6,0
7	R. Rodrigues de Freitas	16h58	16	69,2	72,0	66,0	61,0	11,0
8	R. D. João IV	17h19	15	67,3	70,0	65,0	59,5	10,5
9	Pr. da Liberdade	15h40	15	69,6	72,0	68,5	64,5	7,5

$$*\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}.$$

A última coluna (ΔL_A) traduz a diferença existente entre os ruídos que têm origem em fontes com níveis sonoros mais elevados mas de relativa curta duração (nível sonoro excedido em 10% do tempo, “ruído de pico”) e os ruídos com origem em fontes com níveis sonoros mais baixos mas de longa duração (nível sonoro excedido em 90% do tempo, “ruído de fundo”). Representa aproximadamente o acréscimo “incomodativo” sobre o “ruído de fundo”.

O maior acréscimo provocado ao ruído de fundo encontra-se nos pontos 7 e 8 enquanto o menor é no ponto 6. Estes resultados estão relacionados com o trânsito rodoviário, que para o Campo dos Mártires deixou de existir (zona pedestre). Outros factores que podem estar por detrás destes valores são o abandono e a degradação dos edifícios na envolvente dos pontos 6 e 7 e a própria geometria do espaço. Estes aspectos são analisados de uma forma mais aprofundada no ponto 5.1.4.

5.1.3. COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE ANOS ANTERIORES

Neste ponto procede-se à comparação dos valores resultantes das medições em 1990, 1998 e 2011. A análise e discussão dos valores e resultados apresentados neste subcapítulo realiza-se no ponto 5.1.4.

Inicia-se a comparação dos parâmetros estatísticos, com a apresentação dos valores nos quadros 5.3 a 5.5 e através dos gráficos constantes nas figuras 5.29 a 5.31.

Nos quadros acrescenta-se uma coluna com a variação do L_A de 1990 para 2011. É ainda possível verificar através dos gráficos a evolução do ruído de 1990 para 1998 e deste ano para 2011.

Quadro 5.3: Valores do L_{A10} para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (ΔL_{A10}) de 1990 para 2011.

Pt	Local	L_{A10} (dB)			ΔL_{A10} (dB)	
		1990	1998	2011	$L_{2011}-L_{1990}$	$L_{2011}-L_{1998}$
1	Pr. Marquês de Pombal	72,2	72,2	70,0	-2,2	-2,2
2	R. Santa Catarina	72,7	76,2	70,0	-2,7	-6,2
3	Pr. da República	69,2	69,7	69,0	-0,2	-0,7
4	R. da Boavista	74,7	74,7	73,5	-1,2	-1,2
5	Rotunda da Boavista	73,2	75,2	70,0	-3,2	-5,2
6	Campo Mártires da Pátria	69,7	77,2	61,0	-8,7	-16,2
7	R. Rodrigues de Freitas	68,3	69,2	72,0	3,7	2,8
8	R. D. João IV	75,2	72,7	70,0	-5,2	-2,7
9	Pr. da Liberdade	68,2	78,2	72,0	3,8	-6,2
	Média Aritmética	71,5	73,9	69,7	-1,8	-4,2

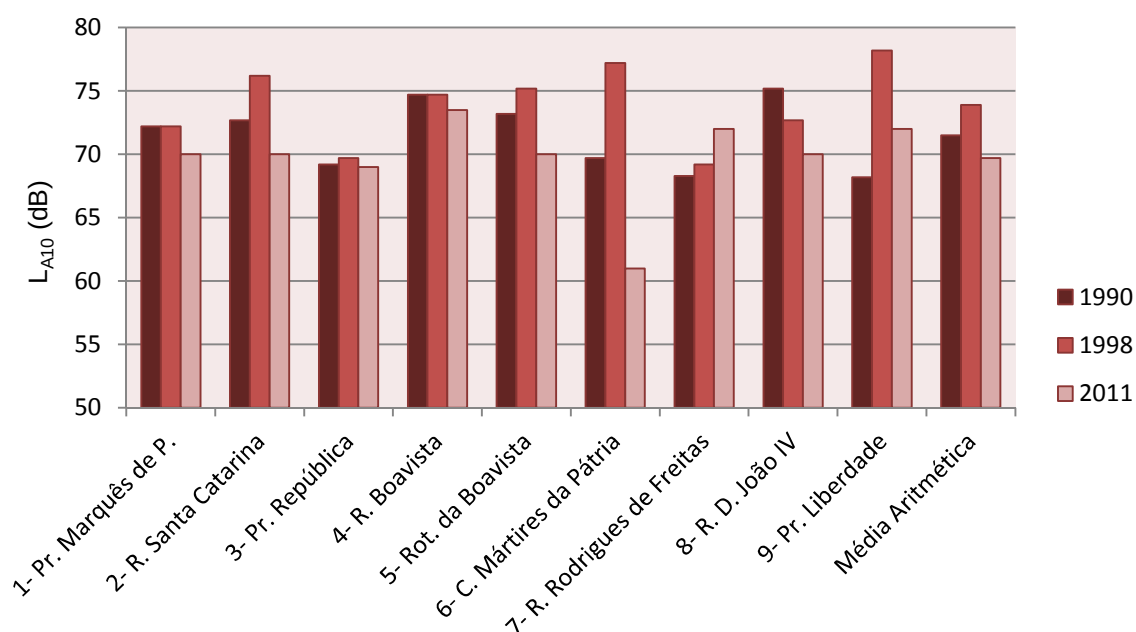


Fig. 5.29: Comparação dos valores do L_{A10} de 1990, 1998 e 2011.

Quadro 5.4: Valores do L_{A50} para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (ΔL_{A50}) de 1990 para 2011.

Pt	Local	L_{A50} (dB)			ΔL_{A50} (dB)	
		1990	1998	2011	$L_{2011}-L_{1990}$	$L_{2011}-L_{1998}$
1	Pr. Marquês de Pombal	66,2	66,7	65,5	-0,7	-1,2
2	R. Santa Catarina	68,2	69,2	65,0	-3,2	-4,2
3	Pr. da República	64,2	65,2	64,0	-0,2	-1,2
4	R. da Boavista	68,7	71,2	69,0	0,3	-2,2
5	Rotunda da Boavista	68,2	70,2	65,0	-3,2	-5,2
6	Campo Mártires da Pátria	66,2	69,7	58,0	-8,2	-11,7
7	R. Rodrigues de Freitas	64,2	65,2	66,0	1,8	0,8
8	R. D. João IV	68,7	69,2	65,0	-3,7	-4,2
9	Pr. da Liberdade	64,2	71,7	68,5	4,3	-3,2
	Média Aritmética	66,5	68,7	65,1	-1,4	-3,6

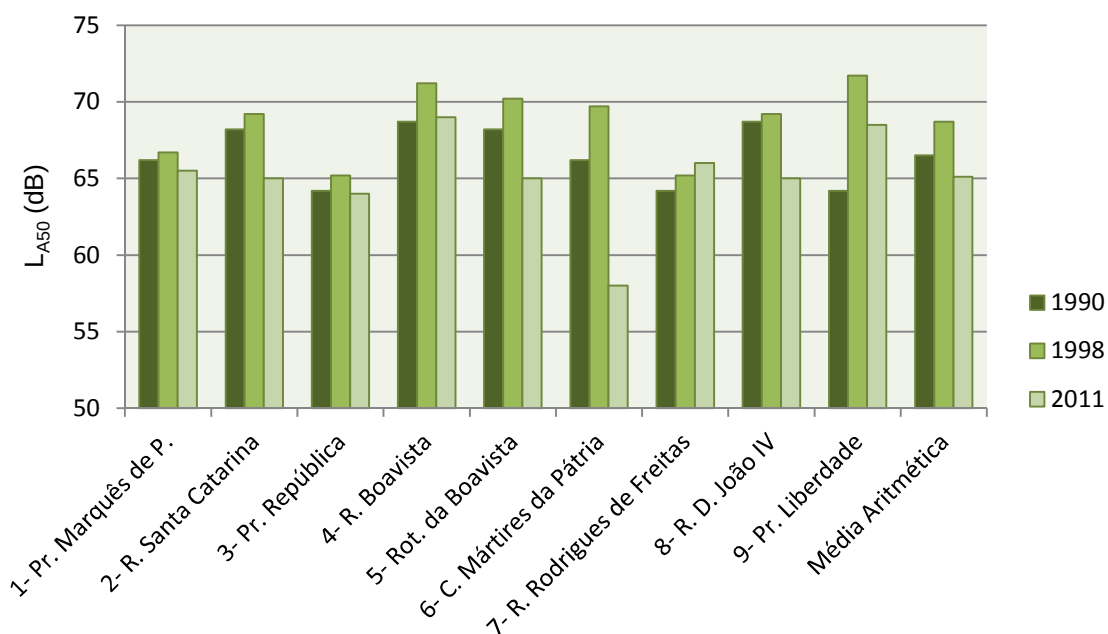


Fig. 5.30: Comparação dos valores do L_{A50} de 1990, 1998 e 2011.

Quadro 5.5: Valores do L_{A90} para os nove lugares analisados em 1990, 1998 e 2011. Variação (ΔL_{A90}) de 1990 para 2011.

Pt	Local	L_{A90} (dB)			ΔL_{A90} (dB)	
		1990	1998	2011	$L_{2011}-L_{1990}$	$L_{2011}-L_{1998}$
1	Pr. Marquês de Pombal	62,2	63,7	61,5	-0,7	-2,2
2	R. Santa Catarina	63,7	60,2	61,5	-2,2	1,3
3	Pr. da República	62,2	63,7	60,5	-1,7	-3,2
4	R. da Boavista	60,7	68,2	63,5	2,8	-4,7
5	Rotunda da Boavista	66,7	67,7	61,5	-5,2	-6,2
6	Campo Mártires da Pátria	64,2	60,2	55,0	-9,2	-5,2
7	R. Rodrigues de Freitas	60,2	58,2	61,0	0,8	2,8
8	R. D. João IV	60,2	66,2	59,5	-0,7	-6,7
9	Pr. da Liberdade	60,7	68,2	64,5	3,8	-3,7
	Média Aritmética	62,3	64,0	60,9	-1,4	-3,1

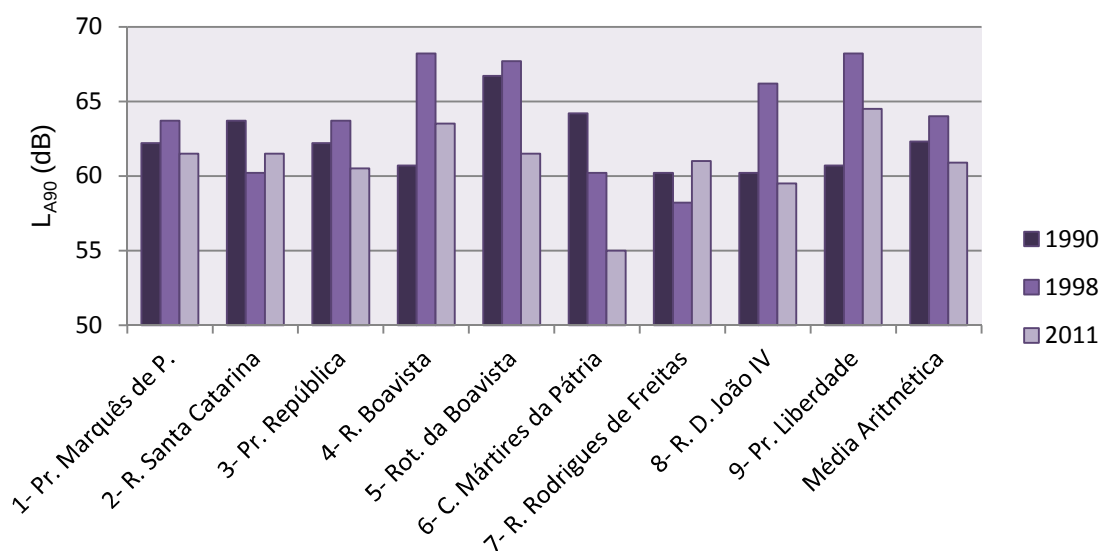


Fig. 5.31: Comparação dos valores do L_{A90} de 1990, 1998 e 2011.

Além destes três parâmetros apresenta-se a comparação do parâmetro energético, o L_{Aeq} . Em 1990 não se registaram as medições deste parâmetro, pelo que se faz agora uma aproximação (estimativa). Utilizou-se uma regressão estatística com os nove conjuntos de valores medidos em 2011 (quadro 5.2), através do programa de análise estatística “Systat”, onde se obteve um Modelo Geral Linear (com $R^2=0,97$), visível na equação 5.1. A previsão apresentada tem um erro-padrão de 0,5 dB(A).

$$L_{Aeq} = -0,21729 + 0,83715 L_{A10} - 0,04491 L_{A50} + 0,20099 L_{A90} \quad (5.1)$$

O quadro 5.6 apresenta os valores para L_{Aeq} nos nove lugares analisados. Uma vez obtidos estes valores é possível construir o gráfico representado na figura 5.32, onde se compara e observa a evolução do L_{Aeq} ao longo dos três anos analisados.

Quadro 5.6: Estimativas dos valores do L_{Aeq} , para as medições de 1990, com previsão de modelo linear geral linear.

Pt	Local	L_{Aeq} (dB)			ΔL_{Aeq} (dB)	
		1990p*	1998	2011	$L_{2011}-L_{1990}$	$L_{2011}-L_{1998}$
1	Praça Marquês de Pombal	69,8	68,6	68,9	-0,9	0,3
2	R. Santa Catarina	70,4	72,7	67,5	-2,9	-5,2
3	Praça da República	67,3	66,1	66,8	-0,5	0,7
4	R. da Boavista	71,4	72,1	71,0	-0,4	-1,1
5	Rotunda da Boavista	71,4	72,1	67,8	-3,6	-4,3
6	Campo Mártires da Pátria	68,1	74,5	59,2	-8,9	-15,3
7	R. Rodrigues de Freitas	66,2	66,3	69,2	3,0	2,9
8	R. D. João IV	71,8	70,6	67,3	-4,5	-3,3
9	Praça da Liberdade	66,2	73,5	69,6	3,4	-3,9
	Média Aritmética	69,2	70,7	67,5	-1,7	-3,2

* Com erro-padrão da estimativa de 0,5 dB(A).

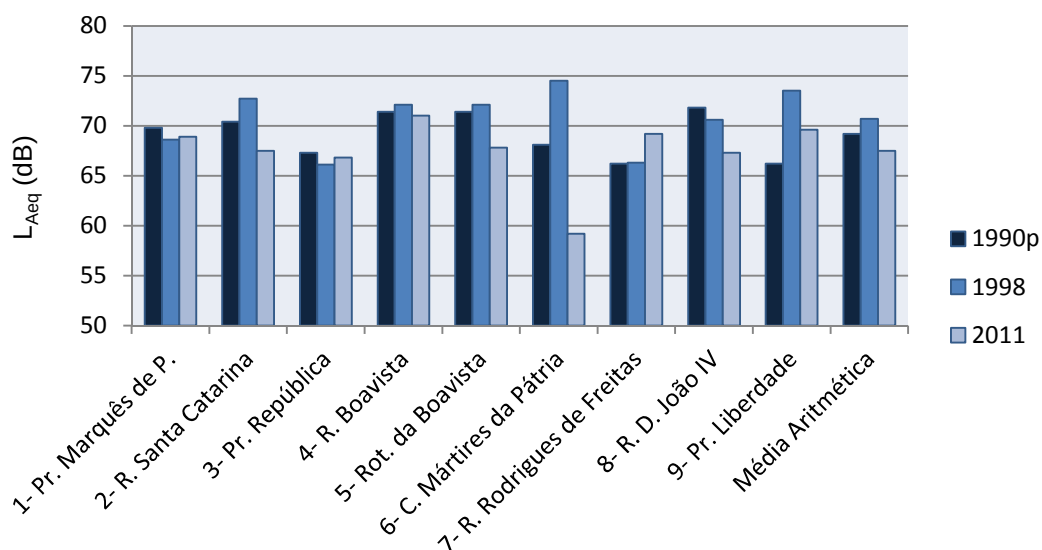


Fig. 5.32: Comparação dos valores do L_{Aeq} entre 1990 (previsto), 1998 e 2011.

5.1.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste subcapítulo realiza-se a análise dos resultados obtidos, mediante a apresentação de diferentes tópicos para orientação:

- Análise geral do ruído em 2011;
- Evolução global do ruído de 1990 até 2011;
- Análise pormenorizada da evolução do ruído de 1990 até 2011 por locais;
- Comparação com outras cidades Europeias.

Note-se que os locais estudados situam-se em zonas mistas, o que de acordo com o RGR actual impõe um limite para o L_{den} de 65 dB(A). Os valores recolhidos são pequenas amostras do nível sonoro que não traduzem o valor que se obteria para o período de tempo estipulado pelo parâmetro L_{den} , e como tal os valores recolhidos apenas servem de aviso sobre o estado do ambiente sonoro.

a) Análise geral do ruído em 2011

Nesta primeira análise começa-se por comparar os valores do L_{Aeq}^{10} obtidos nos nove locais estudados em 2011. O objectivo consiste em perceber quais são actualmente os locais mais ruidosos e os mais silenciosos, bem como as possíveis causas.

Segundo o quadro 5.2, constata-se que a Rua da Boavista (ponto 4) é o lugar mais ruidoso e que o Campo dos Mártires da Pátria (ponto 6) o mais sossegado. Só por si, as características que estes locais apresentam poderiam levar a esta conclusão, já que o primeiro consiste num cruzamento de duas ruas estreitas com tráfego compacto e o segundo consiste num local onde simplesmente já não passam veículos motorizados.

Considerando os valores do quadro 5.7, que traduz o aumento do nível sonoro provocado pela presença de tráfego rodoviário¹¹ nos diferentes locais relativamente ao Campo dos Mártires da Pátria (ponto 6), verifica-se que, com excepção do L_{A90} , o local com o L_A mais próximo do ponto 6 localiza-se no ponto 3 (Praça da República).

Quadro 5.7: Valores do aumento do nível sonoro (ΔL_A) representativos da presença próxima do tráfego rodoviário.

Ponto	1	2	3	4	5	7	8	9	Média
ΔL_{Aeq} , face ao L_{Aeq} local 6 (59,2 dB)	9,7	8,3	7,6	11,8	8,6	10,0	8,1	10,4	9,3
ΔL_{A10} , face ao L_{A10} local 6 (61,0 dB)	9,0	9,0	8,0	12,5	9,0	11,0	9,0	11,0	9,8
ΔL_{A50} , face ao L_{A50} local 6 (58,0 dB)	7,5	7,0	6,0	11,0	7,0	8,0	7,0	10,5	8,0
ΔL_{A90} , face ao L_{A90} local 6 (55,0 dB)	6,5	6,5	5,5	8,5	6,5	6,0	4,5	9,5	6,7

Os valores médios do ΔL_A são todos superiores a 6 dB, o que em termos de pressão sonora significa que a presença do tráfego rodoviário traduz-se num ruído superior em mais do dobro

¹⁰ L_{Aeq} é o parâmetro aconselhado pela NP ISO 1996 para servir de indicador de ruído em comunidade.

¹¹ Valores obtidos através da subtracção do nível sonoro do local 6, onde não existe tráfego rodoviário, aos restantes locais estudados.

do existente no ponto 6 (recorde-se que quando se somam dois ruídos de igual nível sonoro o valor resultante é superior em 3 dB). Considerando o L_{Aeq} este aumento é superior a 9 dB.

Os parâmetros estatísticos apresentam uma variação decrescente conforme o aumento da percentagem do tempo. Este comportamento revela uma maior divergência relativa aos ruídos com maior nível sonoro e de curta duração como o proporcionado pelos veículos automóveis.

Constata-se tanto pelo quadro 5.2 como pelo 5.7 que existe um comportamento semelhante entre dois grupos de locais: os que têm a designação 4, 7 e 9 versus 1, 2, 3, 5 e 8, onde com excepção do L_{A90} os valores são aproximados. Mais à frente, analisam-se as características destes locais que possam justificar estes resultados.

No quadro 5.2, os valores da última coluna revelam uma variação entre 6 e 11 dB, sendo a mais baixa correspondente ao Campo dos Mártires da Pátria (ponto 6). É mais um resultado tradutor da ausência do ruído de tráfego, onde desaparecem os ruídos mais elevados e geralmente não contínuos que caracterizam este tipo de ruídos no meio urbano consolidado.

Em ordem a caracterizar o ruído existente nas ruas da cidade do Porto apresenta-se o quadro 5.8 com os valores médios dos diferentes níveis sonoros medidos sem contabilizar os valores do ponto 6.

Quadro 5.8: Valores médios dos níveis sonoros medidos nos locais com tráfego rodoviário.

Nível Sonoro	L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}
Valor Médio sem ponto 6 (dB)	68,5	70,8	66,0	61,7

Estes valores médios não traduzem o valor global exacto do ruído mas dão uma ideia do ruído existente nas ruas do Porto com tráfego rodoviário. No ponto 5.5 faz-se uma comparação destes valores com os níveis sonoros dos ruídos de origem natural.

Conclui-se desta análise que a presença do tráfego rodoviário é potenciadora de níveis sonoros mais elevados e que a eliminação da passagem próxima de veículos (zonas pedestres) pode reduzir em cerca de 9 dB(A) o ruído ambiente. A geometria do espaço pode ter influências nos valores medidos, sendo este aspecto aprofundado na alínea c.

b) Evolução do Ruído de 1990 até 2011

Nesta alínea pretende-se perceber como ao longo dos últimos 21 anos o ruído evoluiu na cidade do Porto. Começa-se por analisar os valores do L_{Aeq} do quadro 5.6 e da figura 5.32.

Em 1990, a situação era considerada “abismal”, tal como se pode comprovar com a leitura do ponto 4.2.2. Os valores obtidos com a previsão são demonstrativos desta situação em que todos os valores do L_{Aeqp} são superiores a 65 dB. Em 1998 assiste-se a um crescimento do ruído na maior parte dos locais estudados. Três destes destacam-se pelas subidas verificadas: na Rua Santa Catarina, no Campo Mártires da Pátria e na Praça da Liberdade. Em termos comparativos dos valores de 1998 com os de 2011, verifica-se que em alguns lugares a situação melhorou e noutros manteve-se praticamente constante ou até subiu ligeiramente.

Fazendo a média aritmética do L_{Aeq} medido nos diferentes locais em 2011 chega-se a um valor de 67,5 dB, menos 1 dB que o valor constante no quadro 5.8 por não contabilizar o local 6. Para

os restantes anos obtém-se uma média de 69,2 dB em 1990p e de 70,7 dB em 1998. Demonstra-se que no Porto existe uma tendência decrescente do ruído para os últimos anos¹².

Em termos de variação dos níveis sonoros de 1990 para 2011, apresenta-se o quadro 5.9 e a figura 5.33 que traduzem este fenómeno para os nove locais estudados.

Quadro 5.9: Variação dos níveis sonoros em 21 anos ($\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1990)}$) para os nove locais e sua média aritmética.

Parâmetro (dB)	Ponto									Média Aritmética
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L_{A10}	-2,2	-2,7	-0,2	-1,2	-3,2	-8,7	3,7	-5,2	3,8	-1,8
L_{A50}	-0,7	-3,2	-0,2	0,3	-3,2	-8,2	1,8	-3,7	4,3	-1,4
L_{A90}	-0,7	-2,2	-1,7	2,8	-5,2	-9,2	0,8	-0,7	3,8	-1,4
L_{Aeq}^*	-0,9	-2,9	-0,5	-0,4	-3,6	-8,9	3,0	-4,5	3,4	-1,7

* Valores previstos para 1990 (erro-padrão = 0,5 dB).

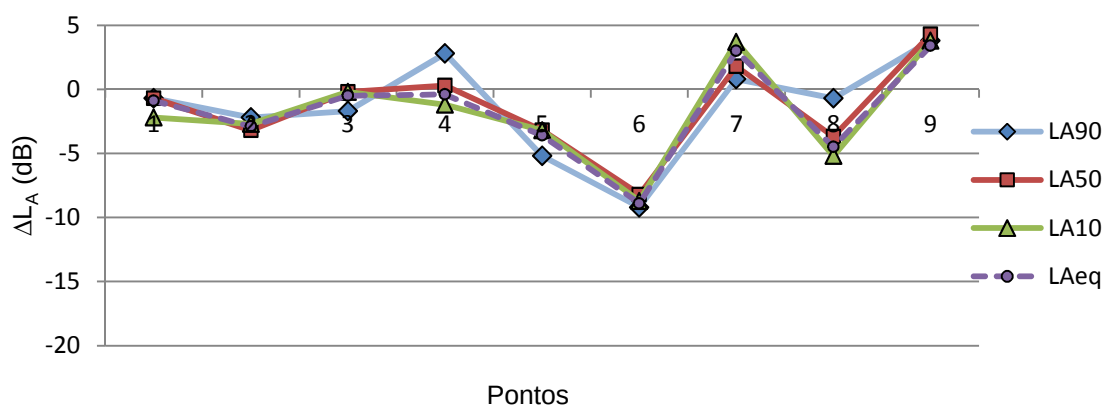


Fig. 5.33: Variação em 21 anos do $\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1990)}$ para os nove lugares.

Para este intervalo de tempo verifica-se que os diferentes parâmetros demonstram a mesma tendência para os sucessivos locais. Destes o L_{A90} é o que se destaca ou por excesso ou por defeito na maior parte dos locais. A média contudo tem um valor próximo entre -1,4 dB e -1,8 dB para os diferentes parâmetros, ou seja, verifica-se que o ruído tem uma propensão para a diminuição. Em resumo, pode-se referir (embora de forma grosseira) que em 21 anos o ruído na cidade reduziu cerca de 2 dB(A).

Pode-se realçar que os locais 7 (R. Rodrigues de Freitas) e 9 (Praça da Liberdade) são os que apresentam aumento do ruído para a maioria dos parâmetros. Os locais 1 (Praça do Marquês de Pombal), 3 (Praça da República) e 4 (Rua da Boavista) aparentam a estabilização da maior parte

¹² Apesar de ser uma aproximação, esta afirmação pode ser considerada credível, até porque os locais medidos estão todos localizados numa área restrita da cidade.

dos níveis sonoros enquanto nos restantes locais o ruído diminui, com destaque para o 6 (Campo dos Mártires da Pátria).

Para uma análise mais cuidada compara-se com a variação ocorrida nos últimos 13 anos que pode esclarecer alguns aspectos que se demonstrem estranhos. Para tal, pode-se observar o quadro 5.10 e a figura 5.34.

Quadro 5.10: Variação dos níveis sonoros em 13 anos ($\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1998)}$) para os nove locais e sua média aritmética.

Parâmetro (dB)	Ponto									Média Aritmética
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L_{A10}	-2,2	-6,2	-0,7	-1,2	-5,2	-16,2	2,8	-2,7	-6,2	-4,2
L_{A50}	-1,2	-4,2	-1,2	-2,2	-5,2	-11,7	0,8	-4,2	-3,2	-3,6
L_{A90}	-2,2	1,3	-3,2	-4,7	-6,2	-5,2	2,8	-6,7	-3,7	-3,1
L_{Aeq}	0,3	-5,2	0,7	-1,1	-4,3	-15,3	2,9	-3,3	-3,9	-3,2

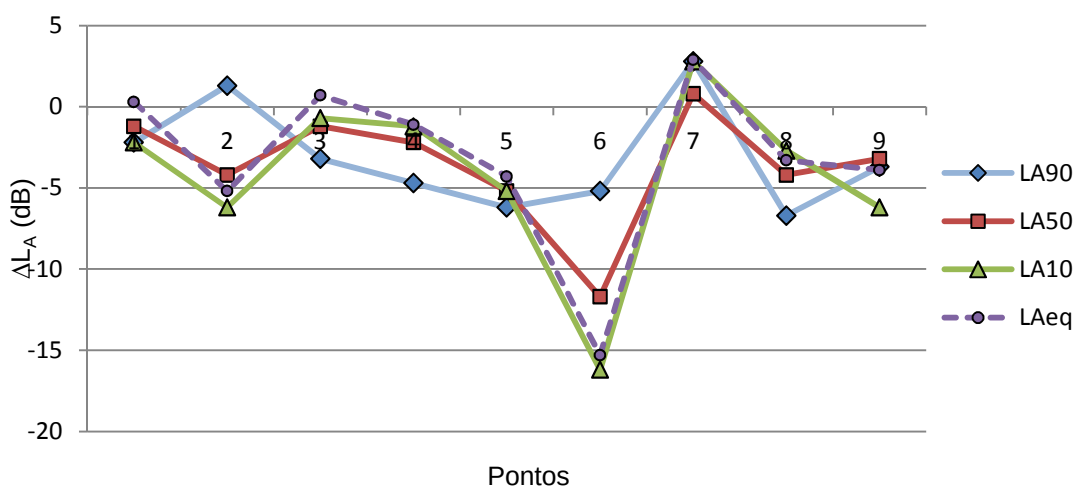


Fig. 5.34: Variação em 13 anos do $\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1998)}$ para os nove lugares.

Estes dados mostram algumas contradições com os resultados anteriores pois revelam tendências diferentes para um período mais curto. Em 13 anos o ruído reduziu cerca de 3 dB(A) enquanto em 21 diminuiu só 2 dB(A). Neste caso apenas na Rua Rodrigues de Freitas (local 7) existe o crescimento dos níveis sonoros em todos os parâmetros, mas de forma menos pronunciada. No local 9 (Praça da Liberdade) existe uma inversão da situação, o que significa que de 1990 para 1998 existiu um aumento significativo do ruído e deste ano para 2011 este diminuiu sem no entanto ultrapassar os valores dos diferentes níveis sonoros em 1990.

Com exceção da curva do L_{A90} , os parâmetros seguem aproximadamente a mesma tendência para os diferentes lugares, excluindo o 9 que já se comentou anteriormente, mas com valores geralmente mais baixos. Isto significa que de 1990 para 1998 ocorreu um aumento do ruído e deste ano para 2011 existiu uma redução que é mais acentuada face à que se encontra analisando

os últimos 21 anos. Este aspecto é comprovado pela média aritmética que demonstra que a variação é negativa e que tem valores mais baixos entre -3,1 dB e -4,2 dB.

O ruído de fundo (L_{A90}) demonstra uma tendência diferente, em que nos últimos treze anos decresceu de forma menos acentuada nos locais 5 e 6 face aos valores de 1990, e nos locais 2, 4 e 9 mostrou tendências opostas. A análise feita na alínea seguinte aborda as causas que poderão justificar estas diferenças.

c) Análise pormenorizada da evolução do ruído de 1990 até 2011 por locais

Nesta alínea pretende-se conhecer, por local, a forma como o ruído evoluiu ao longo dos diferentes anos analisados, tentando-se entender como a forma do espaço pode influenciar os níveis sonoros medidos. Pretende-se ainda perceber o efeito das alterações do tráfego e da envolvente dos espaços no ruído. A análise é feita de acordo com a seguinte ordem:

1. Campo dos Mártires da Pátria;
2. Praça do Marquês de Pombal e Praça da República;
3. Praça da Liberdade;
4. Rua Rodrigues de Freitas e Rua D. João IV;
5. Rua Santa Catarina, Rua da Boavista e Rotunda da Boavista.

Nesta análise consideram-se os valores dos quadros 5.2 a 5.10 e das figuras 5.29 a 5.34.

1. Campo dos Mártires da Pátria (local 6)

O local 6 é o único sítio analisado onde deixou de existir tráfego rodoviário (zona pedestre). Por esse motivo é objectivo deste ponto a quantificação e a discussão dos efeitos de uma alteração tão radical, num local onde previamente o nível sonoro seria considerado elevado.

Após uma subida considerável no L_{Aeq} de 1990 a 1998 existe uma redução abrupta para 2011, que é próxima de 15 dB. Olhando para os parâmetros estatísticos verifica-se que o mesmo fenómeno acontece no L_{A10} e no L_{A50} , com ordens de grandeza semelhantes nesta variação.

Para o “ruído de fundo” existe uma evolução curiosa, pois o L_{A90} desce de forma contínua para as três medições atingindo os 55,0 dB em 2011 (uma descida de cerca 9 dB desde 1990). É um sinal que a actuação não foi simplesmente drástica mas que a própria utilização do espaço já vinha a denunciar alterações no ruído (note-se que no edifício situado junto ao local onde se efectuaram as medições funcionava antigamente a Faculdade de Ciências e hoje em dia está instalada a Reitoria da Universidade do Porto, ou seja, existe uma menor afluência de pessoas).

Não se poderia aplicar igual decisão em toda a cidade, mas através deste caso fica-se com uma ideia de quanto se pode ganhar, em termos de redução do ruído, com a reprodução de zonas pedestres e alteração de uso (diminuição de 9 a 15 dB(A)).

2. Praça do Marquês de Pombal (local 1) e Praça da República (local 3)

Tratando-se de duas praças com características semelhantes (forma rectangular com edifícios na envolvente, jardim central e circulação dos veículos motorizados mais acentuada em algumas ruas), procede-se à análise da evolução dos níveis sonoros nestes locais tentando-se perceber as relações existentes entre eles.

Além de serem idênticos na sua constituição, os locais 1 e 3 apresentam comportamentos muito similares em termos da evolução do ruído que se mantêm praticamente constantes no L_{Aeq} ao longo das três medições realizadas. No que diz respeito aos parâmetros estatísticos, verifica-se que a sua evolução é também semelhante nas duas situações. Uma das diferenças detectadas consiste nos valores que são ligeiramente superiores na Praça do Marquês de Pombal, cujo espaço tem menor área.

Este comportamento pode ser resultante das características destes espaços, com um jardim central capaz de “absorver” e dissipar a energia do ruído, bem como dos locais escolhidos para as medições que acompanharam de forma semelhante a evolução dos fenómenos sonoros que perturbaram a cidade ao longo dos anos.

Em suma, conclui-se que espaços em que existem praças centrais rectangulares, com tráfego mais acentuado em algumas das ruas circundantes parecem ter comportamentos idênticos face às mudanças que ocorrem nas principais fontes de ruído. Nas praças com maior área os valores parecem ser mais reduzidos.

3. Praça da Liberdade (local 9)

Após o estudo dessas duas praças, que têm jardins no espaço central, prossegue-se com a análise do ruído no local 9 que se situa também numa praça mas que é toda ela pavimentada com cubos de granito e tem a particularidade de se situar mesmo no “coração da cidade” “ampliando” a Avenida dos Aliados. Pretende-se além da caracterização do ruído produzido neste espaço, a identificação e quantificação das diferenças existentes com os locais anteriormente analisados.

A Praça da Liberdade apresenta a característica do L_{Aeq} partir em 1990 de um valor mais baixo do de 2011 (de 1990 para 2011 o ruído parece ter aumentado cerca de 4 dB(A), embora tenha diminuído relativamente a 1998). Ao analisar os parâmetros estatísticos verifica-se o mesmo comportamento. Pode-se levantar várias causas para este fenómeno entre as quais:

- Aumento do tráfego rodoviário de 1990 para 1998;
- Eliminação do parque de táxis junto à estátua D. Pedro IV;
- Obras realizadas em 2006 em toda a Avenida dos Aliados, incluindo na Praça da Liberdade e sua envolvente, alterando a circulação dos veículos e principalmente o tipo de piso (passando de um betuminoso para cubos de pedra e por isso muito mais ruidoso);
- Introdução do Metro (que passa subterraneamente) com alteração tanto do número de autocarros como do número de pessoas que circulam neste espaço;
- Diminuição do número de veículos individuais a circular no centro da cidade, associado ao aumento dos custos dos combustíveis e ao aparecimento das portagens nas sctus.

Curiosamente os valores do L_{Aeq} em 2011 mostram que as três praças situadas nos locais 1, 3 e 9 têm valores muito semelhantes. Para este parâmetro a maior diferença encontra-se em 1998 onde na Praça da Liberdade este é mais elevado em cerca de 5 dB face aos outros dois locais. Relativamente aos parâmetros estatísticos as diferenças são mais marcadas em 1998 e 2011, com diferenças relativamente às praças com jardins em cerca de 5dB e 3 dB respectivamente. Em 1990 o ruído era ligeiramente menor ao do existente nas praças nos locais 1 e 3.

Existem diferenças nos parâmetros estatísticos que podem resultar do factor jardim versus praça calçada (o efeito absorvedor das plantas e reflector da pedra), o espaço “mais aberto” da Avenida dos Aliados e o volume de tráfego.

4. Rua Rodrigues de Freitas (local 7) e Rua D. João IV (local 8)

Estes dois lugares situam-se em esquinas opostas do Jardim de S. Lázaro. Devido à proximidade, pretende-se analisar a forma como o ruído evoluiu nos dois locais ao longo dos últimos anos e a identificação dos factores que possam ter interferido nos valores obtidos.

Poderia-se considerar que o Jardim de São Lázaro é semelhante às duas praças analisadas acima no segundo ponto, com algumas diferenças: geometria do espaço mais trapezoidal, ausência num dos lados da circulação de veículos motorizados, presença dum muro a envolver o jardim e existência de um desnível relativamente à Rua Rodrigues de Freitas (uma sobrelevação de cerca de 2 metros). A área do jardim de S. Lázaro é cerca de 1/7 da área da Praça da República (local 3) e 3/8 da área da Praça do Marquês de Pombal (local 1), ou seja é também muito mais pequena (proporções obtidas por aproximação a partir de mapas dos locais à mesma escala).

Ao contrário dos restantes locais analisados, o local 7, situado na Rua Rodrigues Freitas, foi o único onde se verificou que houve um aumento do L_{Aeq} , chegando aos 69,2 dB em 2011 (cerca de +3 dB do que em 1998). De 1990 para 1998 os valores do L_{Aeq} são praticamente iguais (semelhante ao fenómeno que ocorreu nas duas praças estudadas nos locais 1 e 3).

Para os restantes parâmetros analisados verificou-se o mesmo efeito com excepção do L_{A90} que diminui em 1998 (-2 dB) e voltou a aumentar em 2011 (cerca de +3 dB). O facto do L_{A90} diminuir pode-se explicar pela elevada desertificação em termos populacionais que se verifica nesta zona. A causa que parece justificar o aumento do ruído de 1998 para 2011 (cerca de 1 dB para o L_{A50} e 3 dB para os restantes parâmetros) pode ser a abertura da Ponte do Infante em 2003 [42]. Todo o tráfego que vem do centro de Vila Nova de Gaia para o Porto e atravessa esta ponte tem de obrigatoriamente passar em frente ao local onde se realizaram as medições.

Para o local 8, na Rua D. João IV, verifica-se que existe um comportamento inverso ao do local 7. Para o L_{Aeq} os valores em 1990 e 1998 eram mais elevados no local 8 em cerca de 5 dB relativamente ao local 7 (curiosamente os valores também são aproximadamente constantes). Para estes dois anos, os parâmetros estatísticos mostram que na Rua D. João IV poderia existir um tráfego rodoviário mais acentuado. O L_{A90} mostra este efeito pois no local 8 aumenta consideravelmente em 6 dB de 1990 para 1998, enquanto no 7 decresce 2 dB. Em 2011 esta situação é diferente, com valores no local 8 inferiores aos de 1998 e também inferiores ao do local 7 em cerca de 2 dB.

Verifica-se assim que a alteração do tráfego rodoviário é sem dúvida um dos factores que pode influenciar e alterar o ruído nas cidades. A abertura de novas travessias, como a Ponte do Infante, pode trazer alterações em +3 dB e pode alterar as tendências de manifestação do ruído em locais próximos.

5. Rua Santa Catarina (local 2), Rua da Boavista (local 4) e Rotunda da Boavista (local 5)

Embora os locais 2, 4 e 5 não pareçam à primeira vista semelhantes, os valores registados ao longo dos anos demonstram comportamentos parecidos. Por esse motivo, pretende-se neste ponto a análise destes valores com a identificação dos factores que possibilitem a ocorrência deste fenómeno. O comportamento consiste na subida do L_{Aeq} em 1998 (cerca de +1 dB) e descida em 2011 (entre aproximadamente -1 e -5 de dB).

Começando pela Rua da Boavista (local 4), verifica-se que o L_{Aeq} , mesmo com a evolução descrita anteriormente, toma valores mais elevados e muito próximos nos três anos (71-72 dB). Para os parâmetros estatísticos, o local onde se realizaram as medições tem a particularidade do L_{A10} ser igual nos dois primeiros anos (75 dB) reduzindo ligeiramente em 2011 (74 dB). No

L_{A50} e L_{A90} a variação já toma um comportamento mais parecido com o L_{Aeq} , sendo mais acentuado no último parâmetro estatístico. Por se tratar de um cruzamento com edifícios próximos e com a mesma altura pode existir um fenómeno de reflexões sucessivas que façam com que os níveis sonoros sejam tão elevados neste local. A subida do L_{A90} verificada em 1998 (cerca de +7 dB) pode-se justificar pelo aumento do volume de veículos. Já para 2011, pode-se questionar se a redução neste parâmetro de aproximadamente -5 dB não estará relacionado com um fenómeno em sentido contrário e se a degradação e o abandono dos edifícios não poderão estar por detrás dos valores obtidos, pois quanto menor o número de pessoas menor o movimento e logo menor o ruído.

Na Rua Santa Catarina (local 2) e na Rotunda da Boavista (local 5) as variações do L_{Aeq} são muito semelhantes e verifica-se que os valores obtidos em 2011 para os diferentes parâmetros são também idênticos (61,5 dB para o L_{A90} , 65,0 dB para o L_{A50} , 70,0 dB para o L_{A10} e cerca de 68 dB para o L_{Aeq}). Analisando os parâmetros estatísticos, distinguem-se contudo algumas diferenças nos comportamentos dos seus valores ao longo dos anos. O L_{A10} e L_{A50} têm comportamentos idênticos, mas já o L_{A90} tem valores mais elevados no local 5. Pode-se dizer que existe um movimento invertido neste último parâmetro, sendo que para a Rua Santa Catarina o L_{A90} diminui em 1998 (cerca de -4 dB) o que não se verifica na Rotunda da Boavista (aumentou 1 dB). Estas diferenças mostram que para os diferentes locais, mesmo que os níveis sonoros para 90% do tempo tenham valores reduzidos, como os que existem no local 2, tal não significa que em termos médios o L_{Aeq} não possa apresentar valores elevados. Tal pico no L_{A90} põe em causa se este fenómeno não poderá ser resultante do curto espaço de tempo com que se fizeram as medições (apenas um minuto em 1998), que podem ter apanhado momentos de maior tráfego aumentando assim o ruído de fundo.

Para estes dois lugares pode-se apontar como possíveis causas para a diminuição do ruído em 2011 (entre aproximadamente -4 e -5 dB no L_{Aeq} nos últimos 13 anos) o efeito do Metro, cuja introdução pode ter afectado o número de autocarros e de automóveis bem como o número de pessoas que circulam nas ruas¹³. Existe também o efeito dos edifícios desabitados, embora já se encontrem exemplos de edifícios reabilitados em ambos os locais. Este movimento de regeneração pode-se considerar mais acentuado na Rotunda da Boavista onde se verifica a construção de novos edifícios como a Casa da Música, polo de convergência de actividades.

Falando dos valores medidos e não da sua evolução, o facto de serem dois lugares com diferenças em termos urbanos e em termos de volume de tráfego pode justificar a proximidade dos valores encontrados. O tráfego apresenta-se mais concentrado na Rotunda da Boavista mas existe o jardim no seu centro com espaço aberto por onde a energia do ruído se pode dissipar. Na Rua da Boavista e no entroncamento da Rua Gonçalo Cristóvão com a Rua Santa Catarina está-se perante um espaço menos aberto, o que pode propiciar reflexões nas superfícies, compensando desta forma o tráfego que é menor ao da Rotunda da Boavista.

Deste ponto conclui-se que o espaço e o tráfego rodoviário não são por si só suficientes para condicionar a forma como o ruído se faz sentir, pois locais diferentes podem apresentar níveis sonoros semelhantes e mesmo evoluções ao longo dos anos idênticas. Não se deixa contudo de evidenciar a influência das ruas estreitas com cercas iguais, no aumento do ruído.

¹³ Para saber mais pormenores sobre este assunto consultar ponto 5.4.

d) Comparação com outras cidades Europeias

Nesta última alínea compara-se os valores do L_{Aeq} de diferentes cidades do sul da Europa com os do Porto. A média aritmética dos valores medidos no Porto é de: 66 dB em 1990 (previsto), 71 dB em 1998 e 68 dB em 2011.

Num artigo da Sociedad Española de Acústica, publicada em www.sea-acustica.es, estão presentes os valores do L_{Aeq} medidos durante 24 horas para diferentes cidades da Grécia e de Itália em 1992, que são provenientes do congresso “*The Mitigation of traffic Noise in Urban Areas*” realizado em Nantes [44]. Os valores são:

Cidades Gregas:

- Atenas: 72,1 dB(A);
- Tessalónica: 74,5 dB(A);
- Volos: 70,9 dB(A);
- Rodes: 74,0 dB(A).

Média aritmética: 73 dB(A).

Cidades Italianas:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| • Roma: 72,0 dB(A); | • Florença: 71,5 dB(A); |
| • Milão: 70,0 dB(A); | • Nápoles: 74,5 dB(A); |
| • Veneza: 73,5 dB(A); | • Palermo: 70,5 dB(A); |
| • Bolonha: 74,5 dB(A); | • Catania: 73,0 dB(A); |
| • Génova: 74,5 dB(A); | • Bari: 67,0 dB(A). |

Média aritmética: 72 dB(A).

No mesmo estudo é ainda disponibilizado o valor do L_{Aeq} medido durante 24 horas no centro da cidade de Madrid em 1998 que é de 68,8 dB(A).

Para os valores referentes às diferentes cidades, verifica-se que a cidade de Bari tem o nível sonoro mais baixo de 67,0 dB para todos os casos estudados. Tendo em conta o valor do L_{Aeq} no Porto de 1998, constata-se que nesta situação as cidades de Milão, Palermo e Madrid têm valores mais baixos.

Os valores não são referentes ao mesmo ano. Tendo em atenção esse facto, observando a figura 5.35 verifica-se que ao comparar os 66 dB de 1990 com os 73 dB das cidades gregas e 72 dB das cidades italianas de 1992 (valores muito idênticos), reconhece-se que a situação do Porto como cidade muito ruidosa não era um caso isolado da Europa, tendo até valores mais reduzidos que as restantes cidades (por interpolação em 1992 o Porto teria aproximadamente 67 dB, o que é cerca de -5 dB que as cidades gregas e italianas). Já para 1998, não se verifica o mesmo com Madrid, cujo L_{Aeq} é de 68,8 dB (-2 dB que o Porto para o mesmo ano), e que tem a particularidade de ser uma grande capital de um país.

Faz-se uma pequena nota de que uma vez que se desconhecem as características de muitas das cidades referidas, existem dificuldades em comparar os valores do L_{Aeq} e tirar conclusões sobre a acústica destas.

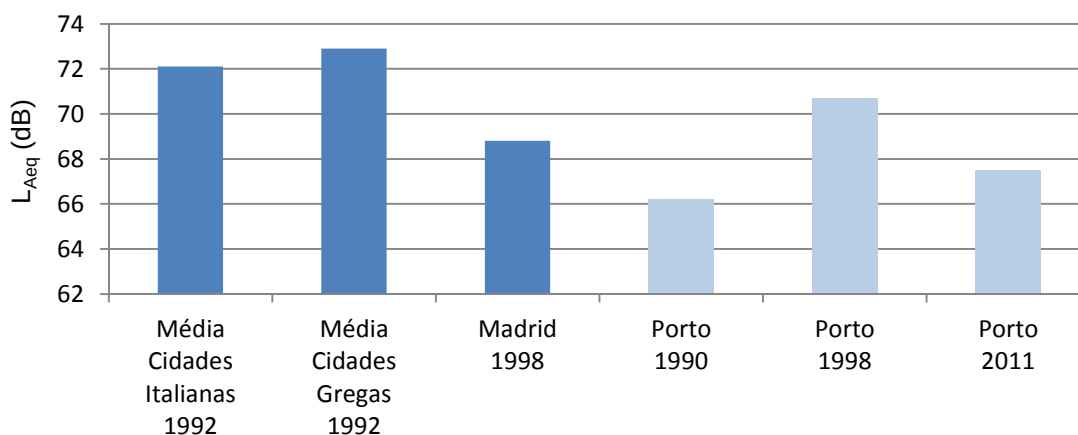


Fig. 5.35: Média dos valores do L_{Aeq} para o Porto e para cidades do sul da Europa [44].

5.2. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA VCI

5.2.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

A VCI serve de comunicação aos principais acessos para a cidade do Porto sendo, como se disse anteriormente, uma das infra-estruturas onde passam actualmente mais veículos. Para ter uma ideia desta grandeza apresentam-se os resultados do *Relatório de Tráfego na Rede Nacional de Auto-estradas de 2010* [45]:

- Em relação à área metropolitana do Porto o TMDA (Tráfego Médio Diário Anual) nas vias de penetração é superior a 65.000 veículos;
- O sub-lanço com maior intensidade é o da A28-IC1, a norte da Ponte da Arrábida coincidente com a VCI a norte da Ponte da Arrábida com 163.000;
- Em relação ao tráfego nas travessias do Rio Douro este é de 136.000 veículos/dia na Ponte da Arrábida e 95.000 veículos/dia na Ponte do Freixo;
- Existe melhor redistribuição de tráfego e efeito circular em relação ao fecho da VCI a sul;
- Constata-se que, para a generalidade das secções representativas, os valores do tráfego cresceu com uma variação de 0,4 a 1,8%.

As figuras 5.36 e 5.37 ilustram, respectivamente, o fluxo de tráfego na área metropolitana do Porto e a TMDA em algumas secções e a sua variação de 2009 para 2010.

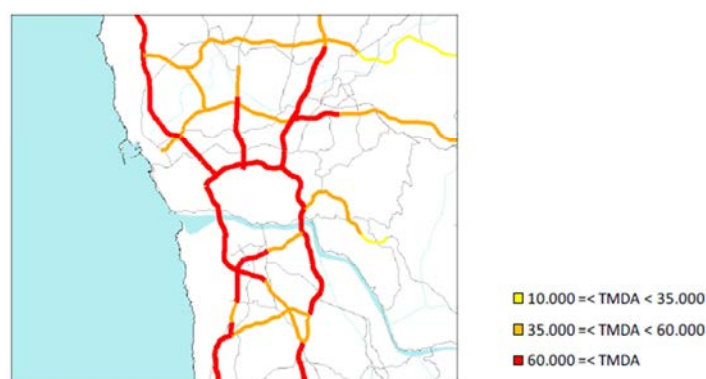


Fig. 5.36: Fluxo de tráfego na área metropolitana do Porto [45].



Fig. 5.37: Valores da TMDA em algumas secções representativas na área metropolitana do Porto e a respectiva variação desde 2009 a 2010 [45].

Estes valores têm como repercussão um comportamento ao nível do ruído distinto do verificado nas medições em 29 de Maio de 1998 (ponto 4.2.5.). Por esse motivo repetiu-se o mesmo estudo tendo em vista a análise da evolução do ruído nos locais junto à VCI.

Os locais de estudo são descritos de acordo com a ordem com que se realizaram as medições e estão em conformidade com a numeração apresentada no quadro 4.3.

As medições foram realizadas no dia 15 de Abril de 2011 entre as 14h55 e as 17h50, procurando desta forma evitar a hora de ponta. Procurou-se que a duração das medições fosse de 15 minutos, de forma a tornar os dados mais fidedignos (ver quadro 5.11).

Quadro 5.11: Hora e duração das medições que se realizaram no dia 15 de Abril de 2011, nos locais junto à VCI.

Pt	Local	Hora	Duração (minutos)
10	Rua Leonardo Coimbra	14h55	15
11	APPC	15h16	15
12	Bairro do Regado	15h50	15
13	Parque de Campismo da Prelada	16h25	15
14	Hospital da Prelada	17h15	15
15	EB 2,3 Maria Lamas	17h50	15

Existiu a preocupação de que o dia da semana em que se fizeram as medições fosse o correspondente ao do estudo de 1998 (sexta-feira), pois tratando-se de uma via rodoviária, o facto de se medir o ruído sonoro, por exemplo, numa sexta-feira ou numa terça-feira pode apresentar diferenças significativas em termos do volume de veículos que circulam na estrada.

Os locais de estudo têm a particularidade de se situarem junto da VCI, havendo alguns casos específicos onde existem:

- Instalações de saúde localizadas nas proximidades: Hospital da Prelada (ponto 14) e APPC- Associação Portuguesa de Paralisia Cerebral (ponto 11);
- Instalações de ensino: Escola EB 2,3 Maria Lamas (ponto 15);
- Locais de lazer: Parque de Campismo da Prelada (ponto 13), actualmente sem utilização;
- Áreas habitacionais: Bairro do Regado (ponto 12) e Rua Dr. Leonardo Coimbra (ponto 10).

Além dos usos que se dão aos solos situados nas proximidades da VCI deve-se referir ainda a posição dos locais de medição relativamente à estrada. Como exemplo refere-se o local 13, junto ao Parque de Campismo da Prelada, que se localiza inferiormente relativamente à VCI e os locais 10 e 11 que se situam ambos acima ou na proximidade de viadutos. As características referidas podem ser observadas nas figuras 5.39 a 5.44.

As condições meteorológicas estão descritas no quadro 5.12.

Quadro 5.12: Condições Meteorológicas no aeroporto do Porto no dia em que se efectuaram as medições junto à VCI [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
15/4/2011	6ª feira	Céu Pouco Nublado a Limpo	23	29	3,6

No que diz respeito à classificação da zona, o PDM do Porto identifica os sítios numerados de 10 a 12 como estando localizados em zonas *mistas*, os locais numerados com os números 13 e 15 como estando na proximidade de zonas *sensíveis* e o local 14 (Hospital da Prelada) é identificado numa zona *sensível*, com a particularidade de se situar na proximidade de uma GIT existente. A figura 5.38 permite a constatação das classificações enumeradas nestes lugares.



Fig. 5.38: Localização dos pontos 10 a 15 na Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona *mista*, azul: zona *sensível*, branco: zona não classificada) [41].



Fig. 5.39: Medição no local 10 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]



Fig. 5.40: Medição no local 11 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]



Fig. 5.41: Medição no local 12 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]



Fig. 5.42: Medição no local 13 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]



Fig. 5.43: Medição no local 14 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]



Fig. 5.44: Medição no local 15 junto à VCI
[fotografia do autor, 15/4/2011]

Existiram dificuldades nos lugares 11 e 15, que não permitiram a realização das medições nos sítios exactos dos de 1998. Na APPC, uma vez que não se conseguiu aceder ao 2º piso do edifício realizou-se a medição no viaduto, e na Escola EB 2,3 Maria Lamas, uma vez que junto ao ginásio existia agora um muro elevado a funcionar como barreira acústica pelo que se optou pela realização da medição num descampado situado ao lado. Tentou-se, desta maneira, escolher lugares nas proximidades que pudessem servir como substituto.

5.2.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores obtidos nos diferentes lugares estão descritos no quadro 5.13. Neste quadro apresentam-se ainda outras características como a duração e a hora em que se realizaram as medições.

Existe uma coluna com o parâmetro ΔL_A que representa a diferença entre o nível sonoro excedido em 10% do tempo e o nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição ($\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$). Esta diferença representa o acréscimo sobre o “ruído de fundo” e é alvo de análise para o presente subcapítulo bem como de comparação para os valores do subcapítulo anterior.

Para uma melhor exposição e análise dos dados apresenta-se na figura 5.45 um gráfico com os valores dos diferentes parâmetros analisados em cada local.

Quadro 5.13: Valores obtidos nas medições em 1998 e 2011 nos locais designados de 10 a 15, situados junto à VCI.

Pt	Local	Data	Parâmetro (dB)				
			L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	ΔL_A^*
10	Rua Leonardo Coimbra	29/5/1998	78,8	79,7	77,7	73,2	6,5
		15/4/2011	66,6	69,0	63,0	60,5	8,5
11	APPC	29/5/1998	73,0	74,7	72,7	70,7	4,0
		15/4/2011	73,4	75,0	73,0	70,5	4,5
12	Bairro do Regado	29/5/1998	72,3	73,7	72,2	70,7	3,0
		15/4/2011	67,9	69,5	67,0	64,5	5,0
13	Parque de Campismo da Prelada	29/5/1998	78,1	79,7	77,7	75,7	4,0
		15/4/2011	69,4	71,5	66,0	62,0	9,5
14	Hospital da Prelada	29/5/1998	70,4	72,2	70,7	66,7	5,5
		15/4/2011	66,2	67,5	65,0	63,5	4,0
15	EB 2,3 Maria Lamas	29/5/1998	72,4	74,7	71,7	70,2	4,5
		15/4/2011	63,4	64,5	62,5	61,0	3,5
	Média Aritmética	29/5/1998	74,2	75,8	73,8	71,2	4,6
		15/4/2011	67,8	69,5	66,1	63,7	5,8

* $\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$.

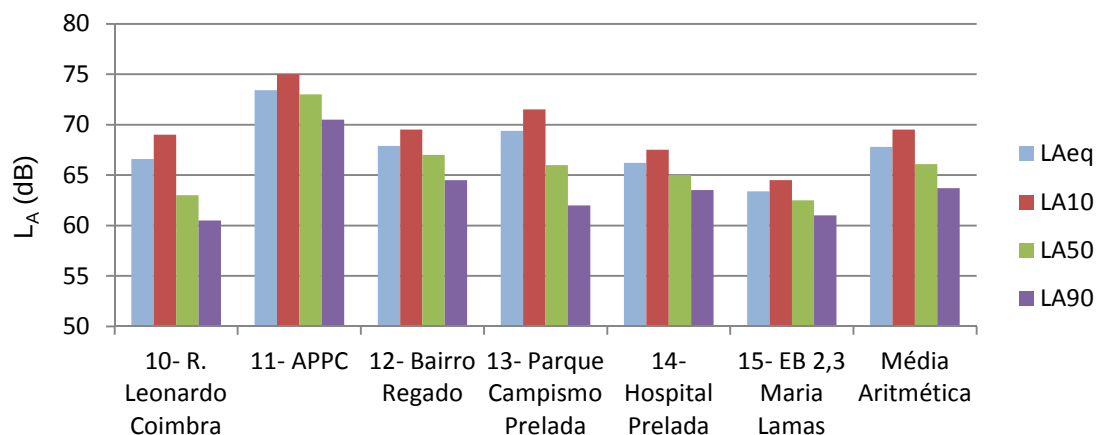


Fig. 5.45: Valores das medições efectuadas junto à VCI em 2011.

5.2.3. COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE 1998

No presente subcapítulo apresenta-se a comparação esquemática para cada parâmetro dos valores obtidos em 1998 e os resultantes das medições de 2011 (figura 5.46 a 5.49).

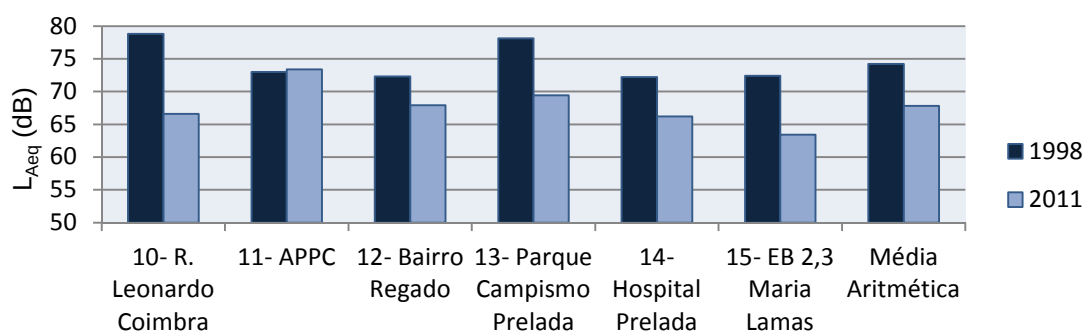


Fig. 5.46: Comparação dos valores do L_{Aeq} entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.

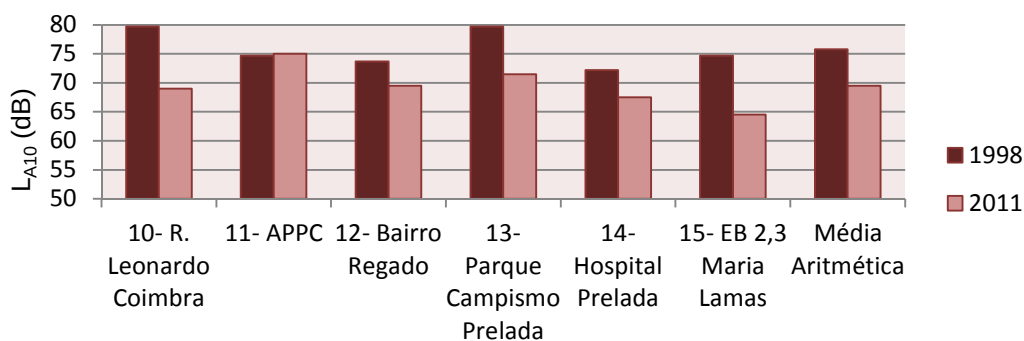


Fig. 5.47: Comparação dos valores do L_{A10} entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.

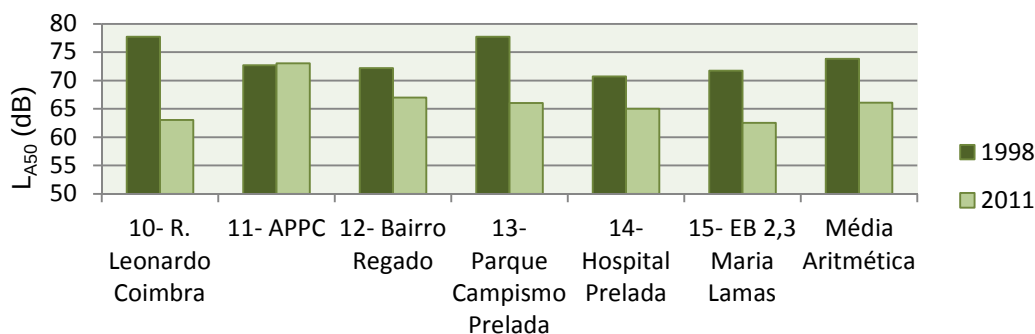


Fig. 5.48: Comparação dos valores do L_{A50} entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.

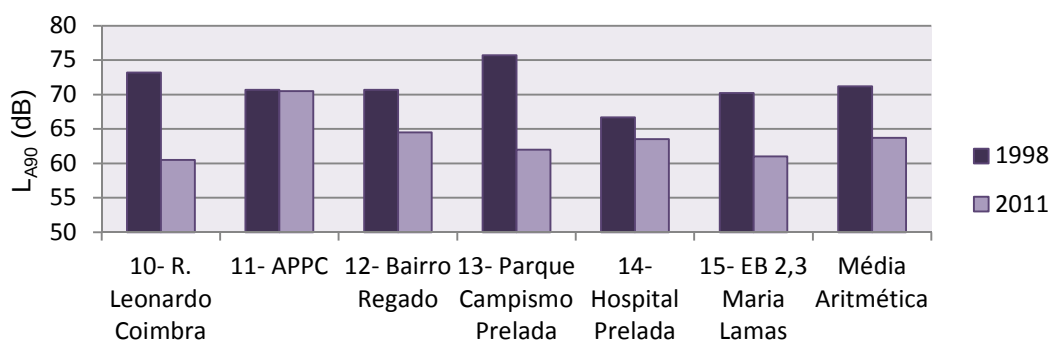


Fig. 5.49: Comparação dos valores do L_{A90} entre 1998 e 2011 para os seis locais perto da VCI.

5.2.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O ruído oriundo de uma estrada como a VCI não pode ser analisado unicamente através de valores isolados, pois é quase impossível perante a quantidade de veículos que passam diariamente nesta via, conhecer assim com exactidão o nível sonoro que esta produz.

Em termos globais verifica-se pela figura 5.45, que para os locais onde se realizaram as medições o local com maior L_{Aeq} situa-se junto à APPC (ponto 11) e o lugar com menor valor situa-se junto à Escola EB 2,3 Maria Lamas (ponto 15). Analisando a figura 4.19, verifica-se que em 1998 o local com o L_{Aeq} mais alto e mais baixo situavam-se respectivamente na Rua Leonardo Coimbra e no Hospital da Prelada.

Os locais estudados situam-se em zonas com “sensibilidade” ao ruído diferentes. Existem duas disposições possíveis, ou localizam-se numa zona mista ou numa zona sensível junto de uma GIT em funcionamento. De acordo com o RGR de 2007, destaca-se os limites máximos para o ruído nesses locais para o L_{den} :

- Zona mista: 65 dB(A);
- Zona sensível na proximidade de GIT existente: 65 dB(A).

A NP ISO 1996 define que para ruídos contínuos com origem numa fonte rodoviário o índice de ruído a aplicar consiste no L_{Aeq} (que é a base do L_{den}) [14].

Segundo este ponto de vista, constata-se que tirando o local 15 todos os valores para o L_{Aeq} são superiores a 65 dB. Em 1998, nenhum dos locais analisados apresentava valores para o L_{Aeq} inferiores a 65 dB. Perante este resultado fica-se com uma certeza, é que junto à VCI existem

locais muito ruidosos que são incómodos para as actividades que neles se desenrolam e o que mais preocupa é que existem hospitais, escolas e zonas habitacionais.

Em termos de evolução, as figuras 5.46 a 5.49 são explícitas pois demonstram que de 1998 para 2011 existiu uma redução praticamente em todos os parâmetros e em todos os locais (entre 2 e 18 dB). A única excepção encontra-se na APPC, cuja causa se pode prender no facto de se ter realizado as medições num local mais próximo e mais exposto relativamente ao de 1998.

O quadro 5.14 e a figura 5.50 mostram como os valores dos parâmetros variaram de 1998 para 2011. Verifica-se que as curvas dos diferentes parâmetros acompanham a mesma tendência para os diferentes locais. De facto o seu valor diminui para todos os parâmetros em todos os locais com excepção do local 11, onde o L_{A50} e o L_{A90} são até ligeiramente superiores (2 dB). Em média, os parâmetros variaram para os diferentes locais aproximadamente entre -4 e -11 dB.

Quadro 5.14: $\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1998)}$ para os seis locais junto à VCI e sua média aritmética.

Parâmetro (dB)	Ponto						Média Aritmética
	10	11	12	13	14	15	
L_{A10}	-13,1	-1,3	-5,8	-10,3	-6	-11,3	-8,0
L_{A50}	-8,7	2,3	-2,7	-6,2	-3,2	-7,2	-4,3
L_{A90}	-10,2	2,3	-3,7	-9,7	-1,7	-7,7	-5,1
L_{Aeq}	-18,3	-2,5	-7,8	-16,1	-6,9	-11,4	-10,5

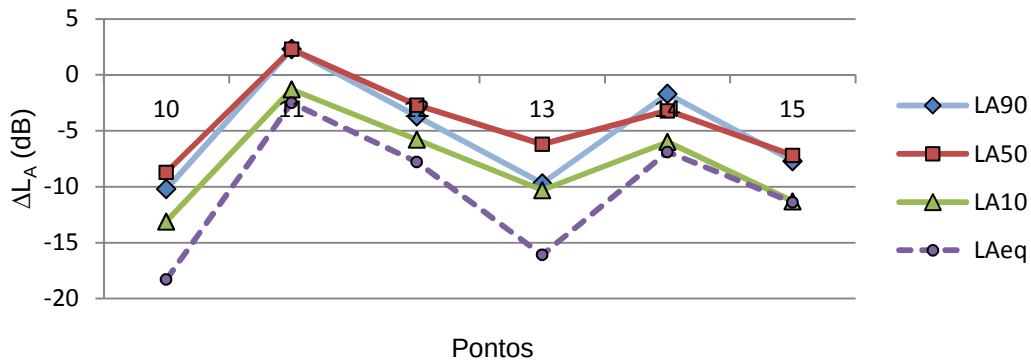


Fig. 5.50: Variação em 13 anos do $\Delta L_A = L_{A(2011)} - L_{A(1998)}$ para os seis lugares situados junto à VCI.

As causas para a redução do ruído ser mais elevada no L_{A10} e no L_{Aeq} podem ser a alteração do tipo de piso em 2004 (para drenante), o estabelecimento de um limite de velocidade mais baixo (90 km/h) e a instalação de radares de controlo de velocidade em 2003 (actualmente inoperacionais).

Para os locais junto ao nó do Regado (pontos 12 e 13), um factor que pode ter influenciado os valores mais reduzidos consiste nas obras de beneficiação em 2006, com a construção de um viaduto e aumento para duas faixas de rodagem, que melhoraram a fluidez da circulação, principalmente na hora de ponta [46].

As variações entre os valores dos diferentes locais pode ser resultado de uma maior exposição ao ruído ou mesmo de um intervalo de tempo em que o número de veículos foi diferente. A

contagem dos veículos e o alargamento do intervalo de tempo poderiam contornar estes problemas e dar valores mais aproximados.

A média aritmética dos valores de L_{Aeq} em 2011 para os seis locais estudados é de 68 dB. Em 1998 este era de 74 dB que representa um decréscimo de 6 dB. Mesmo sendo uma aproximação este valor é significativo e demonstra como as medidas aplicadas na VCI para o controlo do tráfego e redução do ruído podem ser eficazes.

Verifica-se no quadro 5.12 que o acréscimo face ao ruído de fundo em 2011 para os locais 11 e 13 é superior aos restantes em cerca de 5 dB, tendo um valor aproximado de 9 dB. Para os restantes esta variação é de cerca de 4 dB. Comparando com os valores do quadro 5.2 constata-se que os locais situados em espaços urbanos consolidados apresentam variações mais elevadas, entre os 6 dB e os 11 dB. Este último aspecto demonstra o impacto do trânsito rodoviário em espaços menos abertos e que podem ter influenciado as medições nos locais 11 e 13 devido à proximidade destes a ruas movimentadas.

5.3. INFLUÊNCIA DO TÚNEL DE CEUTA NO RUÍDO DA CIDADE DO PORTO

5.3.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Uma das formas de actuar perante o ruído consiste na construção de túneis, que desviam parte do tráfego rodoviário, principal fonte de ruído numa cidade.

É perante este tema que se desenvolve o terceiro caso de estudo. Embora não existam dados sobre o ruído de há vinte anos atrás, é possível, através de medições isoladas antes e depois da entrada ou saída do túnel, verificar qual a redução possível do nível sonoro existente.

O Túnel dos Almadás (vulgarmente conhecido por Túnel de Ceuta) foi projectado em 1993 e inaugurado na sua totalidade a 17 de Outubro de 2006 [42]. Na figura 5.51 (e 5.52) pode-se observar a localização da entrada e das duas saídas do túnel bem como os locais onde se efectuaram as medições numerados de 16 a 20.

Os locais 16 (na Rua D. Manuel II, frente à entrada no Museu Soares dos Reis), 17 (no cruzamento entre a Rua D. Manuel II e a Rua Clemente de Menéres) e 18 (na Rua Clemente de Menéres) estão situados junto às duas saídas do túnel (a sua numeração deve-se à ordem com que se realizaram as medições). O sítio 18 está situado antes da primeira saída, o 17 entre as duas saídas e o 16 após a segunda saída.

Os locais 19 (na Praça de Dona Filipa de Lencastre) e 20 (na Rua de Ceuta) foram escolhidos por se situarem respectivamente à entrada do túnel e logo após esta.

Uma vez que não existem condicionalismos quanto ao horário de medição, pois não existem valores para comparação, elas ocorreram num mesmo dia, 5 de Abril de 2011 (terça-feira), tentando não demorar mais de 1 hora entre as três primeiras medições, nas saídas do túnel, e também nas duas últimas, à entrada do túnel. Este critério foi estabelecido uma vez que não existiam meios para fazer medições em simultâneo, o que poderia trazer resultados mais fidedignos para o estudo pretendido. Se tal fosse possível poderia-se ter uma ideia mais exacta de quanto o ruído estava a ser reduzido devido à existência do túnel. O tempo de medição foi de 15 a 20 minutos para cada local. As condições meteorológicas são as que constam no quadro 5.15.

Em termos de caracterização dos locais escolhidos para análise, deve-se referir que o local 20 situa-se numa subida, o que proporcionava variações nos níveis sonoros medidos, em especial sempre que passam autocarros ou veículos pesados.

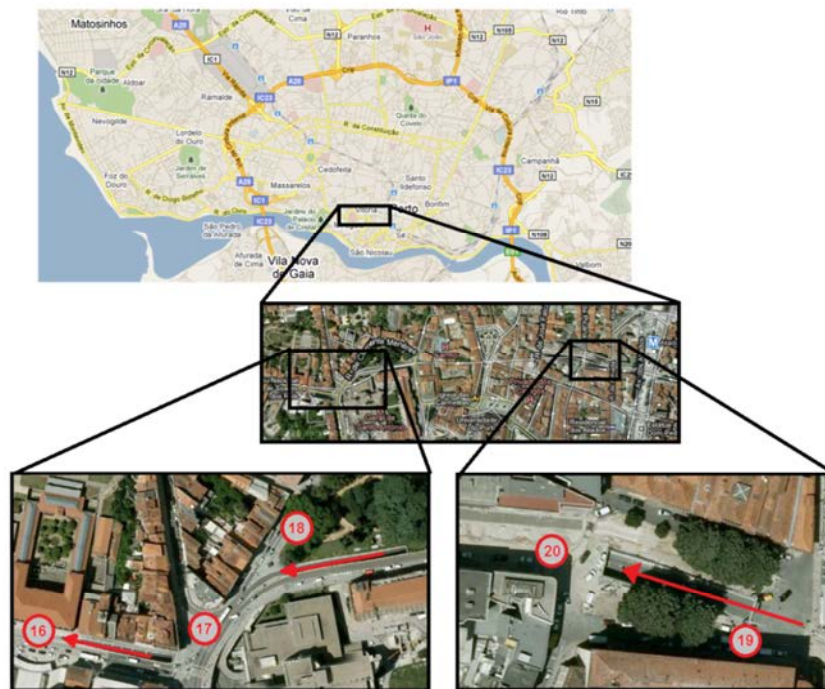


Fig. 5.51: Localização na cidade do Porto da entrada e das saídas do Túnel de Ceuta, bem como dos locais onde se realizaram as medições dos níveis sonoros [adaptado de 36].

Quadro 5.15: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) do dia em que se efectuaram as medições junto ao Túnel de Ceuta [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
5/4/2011	3ª feira	Céu Limpo	25	45	3,5

No que diz respeito ao trânsito rodoviário, este apresentava-se, para todos os lugares, compacto mas fluído. Para os três primeiros lugares verifica-se uma diversidade de situações em que os veículos que vêm de 18 para 17 seguem em sentido único, e em 17 podem tomar três direcções. Já para o local 16 o trânsito tem dois sentidos e destaca-se, em particular pelo facto de o pavimento neste local ser constituído por blocos de pedra, ao contrário dos restantes locais onde é betuminoso, resultado de uma opção urbanística (exigência governamental) tomada devido à presença do Museu Soares dos Reis. O local 18 tem a particularidade de se situar junto a um jardim (Jardim do Carregal, datado de 1897 [42]).

As figuras de 5.53 a 5.58 são demonstrativas de algumas das características apresentadas.

Os locais 16, 17 e 18 situam-se perto do Hospital de Santo António pelo que se encontram junto de uma zona *sensível* (como se pode observar na figura 5.52). Devido à proximidade desta instituição de saúde surgiram naturalmente ruídos provenientes de ambulâncias e de veículos de socorros. Os restantes locais (19 e 20) situam-se numa zona *mista*.



Fig. 5.52: Carta das condicionantes do Porto com a localização dos pontos 16 a 20, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona *mista*; azul: zona *sensível*) [41].



Fig. 5.53: Medição no local 16, com vista para a segunda saída do Túnel de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.54: Medição no local 17, com vista para o Hospital Santo António [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.55: Medição no local 18, com vista para o Jardim do Carregado [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.56: Medição no local 19, com vista para a entrada do Túnel de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.57: Entrada do Túnel de Ceuta, ou Túnel dos Almadas [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.58: Medição no local 20, na subida da Rua de Ceuta [fotografia do autor, 5/4/2011].

5.3.2. RESULTADOS

No quadro 5.16 apresentam-se os valores obtidos nos diferentes locais para os parâmetros medidos. Apresentam-se igualmente as durações e a hora em que se realizaram as medições. A figura 5.59 exibe um gráfico com os valores descritos no quadro 5.16.

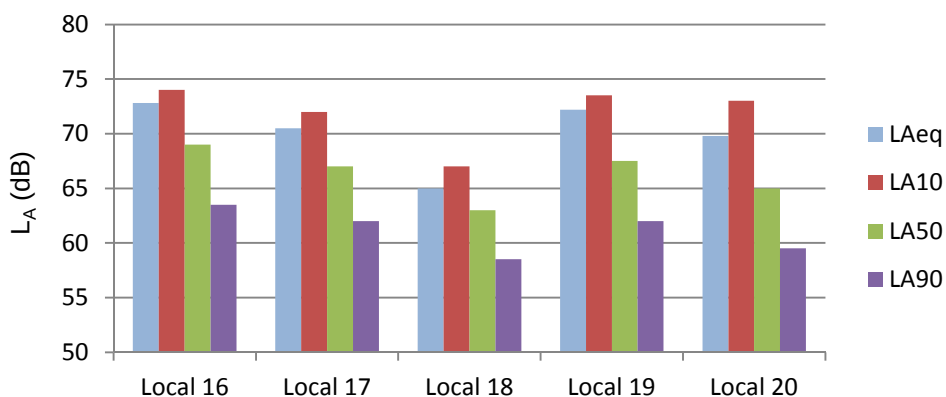


Fig. 5.59: Valores obtidos nas medições em 2011 nos locais perto do Túnel de Ceuta.

Quadro 5.16: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 16 a 20, situados nas proximidades do acesso e das saídas do Túnel de Ceuta.

Pts	Local	Data	Hora	Duração (minutos)	Parâmetro (dB)				
					L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL_A^*
16	R. D. Manuel II	5/4/2011	11h48	15	72,8	74,0	69,0	63,5	10,5
17	Cruzamento entre R. D. Manuel II e R. Clemente de Menéres	5/4/2011	12h07	15	70,5	72,0	67,0	62,0	10,0
18	R. Clemente de Menéres	5/4/2011	12h25	15	65,0	67,0	63,0	58,5	8,5
19	Pr. Dona Filipa de Lencastre	5/4/2011	14h04	15	72,2	73,5	67,5	62,0	11,5
20	R. de Ceuta	5/4/2011	14h22	17	69,8	73,0	65,0	59,5	13,5

* $\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$. Representa o acréscimo sobre o “ruído de fundo”.

Para ajudar a análise e discussão dos resultados, apresentam-se alguns gráficos onde se destacam os valores do L_{Aeq} nas saídas e na entrada do Túnel de Ceuta constantes nas figuras 5.60 e 5.61.

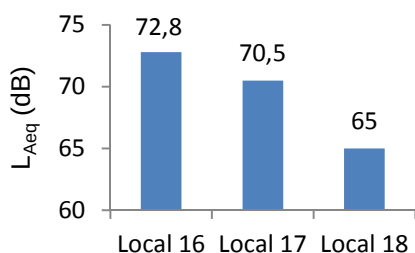


Fig. 5.60: Destaque dos valores do L_{Aeq} para os locais juntos às saídas do Túnel de Ceuta.

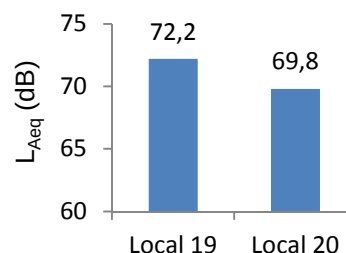


Fig. 5.61: Destaque dos valores do L_{Aeq} para os locais juntos à entrada do Túnel de Ceuta.

Nas saídas do túnel (fig. 5.60) verifica-se um decrescimento do valor do L_{Aeq} do local 16 para o 18. Antes das duas saídas (local 18) obtém-se o valor mais reduzido de 65 dB, e depois da segunda saída (local 16) encontra-se o valor mais alto de 73 dB.

A interpretação das características apresentadas para as saídas pode levantar a questão se os factores intrínsecos dos próprios locais não poderão por si só ser suficientes para provocar estas diferenças. Poderia-se justificar o ruído mais reduzido no local 18 pela presença do jardim, a subida do L_{Aeq} no local 17 devido aos semáforos e o valor mais elevado no 16 derivado ao tipo de piso e ao facto de existirem dois sentidos neste local. Contudo não se pode deixar de dar algum mérito à solução das duas saídas pois além de facilitar a circulação dos automóveis promove o desvio do trânsito, tanto no percurso intermédio entre a entrada e as saídas como na própria envolvente do hospital, o que em muito contribui para o valor mais reduzido encontrado no local 18.

Os dados dos parâmetros estatísticos parecem não dar pistas sobre a origem dos valores encontrados. Estes aumentam quase proporcionalmente de local para local.

No que diz respeito à entrada no túnel (pontos 19 e 20), aí já não existam tantas dúvidas. Como o local 20 se encontra numa subida, onde se verificavam alterações nos valores medidos quase sempre que passava um veículo, em especial os autocarros, seria de esperar, segundo esta lógica, que neste local o nível sonoro contínuo equivalente fosse o mais elevado. Tal não acontece e verifica-se que a introdução do túnel parece ter resultados frutuosos no sentido de reduzir o ruído na cidade.

Analisando mais pormenorizadamente os valores obtidos, constata-se que a redução do L_{Aeq} do local 19 para o 20 foi de 2 dB, valor este que provavelmente foi desfavorecido pelo ruído provocado pela subida dos veículos na Rua de Ceuta. Para as saídas, o aumento do L_{Aeq} do local 18 para o 17 é de 5,5 dB, e do 17 para o 16 é igual a 2 dB, quase metade do anterior. Este menor crescimento mostra como o túnel é capaz de reduzir o ruído no centro da cidade pois mesmo perante dois locais que já por si só apresentam o potencial para serem ruidosos, existe uma pequena diferença que pode ser justificada pela presença do túnel. Se se verificar a diferença entre o local 18 e o 16 esta é de 8 dB, o que mesmo tendo em consideração todos os factores descritos não deixa de ser uma melhoria significativa em termos de redução do ruído.

A última coluna do quadro 5.16 (ΔL_A) demonstra que o acréscimo face ao ruído de fundo toma valores similares aos encontrados no subcapítulo 5.1, com ordens de grandeza entre os 8 e os 11 dB (pontos 1 ao 9, com excepção do 6 cujo valor é mais reduzido uma vez que é uma zona pedestre). Os valores apresentam uma evolução semelhante, significando que perante as

diferentes situações o tráfego rodoviário é o principal responsável pelo surgimento de ruídos mais curtos e com valores de L_A mais elevados que proporcionam estas variações.

Para terminar esta análise falta abordar a legislação e os limites estabelecidos pelo RGR de 2007. O local 16, 17 e 18 situam-se numa zona *mista*, o que implica um L_{den} menor ou igual a 65 dB(A). Pode-se admitir que pelo menos o local 18 parece poder cumprir o regulamento pois o valor do L_{Aeq} aí medido é de 65 dB, o que corresponde ao limite máximo estabelecido no RGR de 2007 (para o L_{den}). Para a proximidade destes locais existem zonas *sensíveis* onde o L_{den} deve ser menor ou igual a 55 dB(A). Como se pode verificar tal parece não acontecer pois os valores do L_{Aeq} (diurno) são muito superiores. Pode-se até levantar uma questão: se a localização da saída do túnel fosse num local mais afastado do hospital será que existiriam mais vantagens? Como é óbvio, tal é impossível de estudar neste momento.

Relativamente à entrada do túnel (locais 19 e 20), o nível sonoro contínuo equivalente é superior a 65 dB para estes locais, o que significa que apesar da melhoria significativa encontrada entre os dois pontos em princípio seriam necessárias mais medidas para reduzir o ruído nesta zona.

5.4. INFLUÊNCIA DO METRO NO RUÍDO DA CIDADE DO PORTO

5.4.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

O Metro do Porto é um sistema de transportes públicos da Área Metropolitana, que “*consiste numa rede ferroviária electrificada subterrânea no centro do Porto e à superfície na periferia*” [42]. A funcionar desde Dezembro de 2002, o Metro do Porto continua em expansão com a construção de novas linhas. Actualmente possui 6 linhas em funcionamento espalhadas por sete concelhos da Área Metropolitana. No total existem 80 estações distribuídas por 70 km, em que 9,5 km são subterrâneos (figura 5.62).

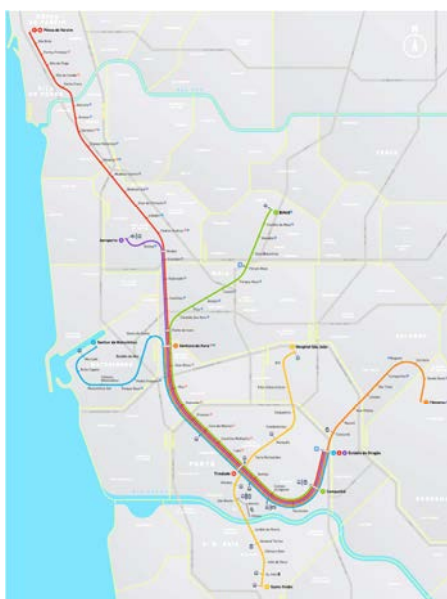


Fig. 5.62: Mapa da rede do Metro do Porto [47].

O aparecimento do Metro trouxe alterações na forma como as pessoas se deslocam na cidade. Segundo o relatório de contas da Metro, em 2010 a procura era de cerca de 53,5 milhões de passageiros, com um crescimento de 1,8% face a 2009 (perto de 1 milhão de passageiros) [48].

Este efeito tem possíveis repercussões no número de passageiros doutros meios de transporte públicos, nomeadamente da STCP (Sociedade de Transportes Colectivos do Porto). O relatório de contas da STCP disponível de 2010, aponta um decréscimo face a 2008 no número de passageiros de aproximadamente 1,8 %, com um número em 2010 de 109 milhões de passageiros. O decréscimo equivale a cerca de 2 milhões de passageiros. Não é possível dizer se a diminuição dos passageiros na STCP é um efeito directo do aparecimento do Metro, mas em termos de veículos da STCP que circulam nas ruas do Porto esta traduz-se numa diminuição desde 2007 até 2010 de 1,4 % [49].

A questão que se pode levantar relativamente a este facto consiste na percepção sobre o modo como o ruído foi afectado desde o aparecimento do Metro.

Uma vez que não existem dados para comparação, tentou-se analisar um conjunto de locais que simbolicamente traduzissem o efeito produzido pela introdução do Metro. Ao mesmo tempo pretende-se analisar o efeito que este tem no ruído da cidade do Porto.

No quadro 5.17 apresentam-se os locais estudados e a sua numeração, que está de acordo com a sinalização na figura 5.63.

Quadro 5.17: Locais numerados de 21 a 27 para análise da influência do Metro no ruído da cidade do Porto.

Ponto	Local
21	Estação do IPO, na Rua António Bernardo Almeida
22	Estação do Pólo Universitário, na Rua Alfredo Allen
23	Estação do Jardim do Morro, na Avenida da República em Vila Nova de Gaia
24	Rua Dr. Roberto Frias
25	Rua Dr. Roberto Frias (junto a paragem do autocarro)
26	Avenida dos Aliados (junto a paragem do autocarro)
27	Rua Alexandre Braga (junto a paragem do autocarro)

Começou-se por escolher um conjunto de estações existentes, no Porto e na sua área metropolitana, que apresentassem características distintas em termos de relação das estações face ao ambiente exterior. Desta forma mediu-se os diferentes parâmetros sonoros na estação do IPO (ponto 21), que se localiza à superfície numa rua com trânsito, na estação do Pólo Universitário (ponto 22), que se trata de uma estação subterrânea, e na estação do Jardim do Morro (ponto 23), este último em Vila Nova de Gaia e que se localiza junto a um jardim e onde não passam outros veículos. Saliente-se que as medições foram realizadas todas no exterior.



Fig. 5.63: Localização dos locais numerados de 21 a 27 para análise da influência do Metro no ruído da cidade do Porto [adaptado de 36].

Para comparação, procurou-se encontrar um local que apresentasse semelhanças em termos de trânsito e constituição da rua, isto é: no número de vias, sentido do trânsito e proximidade relativamente aos locais onde se situam as estações. Este último ponto serve para traduzir a semelhança em termos de tráfego rodoviário, uma vez que não se procedeu à monitorização do número de veículos. Neste sentido mediu-se o nível sonoro na Rua Dr. Roberto Frias (ponto 24), situada em frente à FEUP, que apresenta semelhanças relativamente à Rua António Bernardino Almeida onde se localiza a estação do IPO, com a excepção de não existir o Metro e de os veículos circularem num sentido oposto.

Finalmente fizeram-se algumas medições junto de paragens de autocarros da STCP para comparação. Estas sucederam-se na Rua Dr. Roberto Frias (ponto 25), na Avenida dos Aliados (ponto 26) e na Rua Alexandre Braga (ponto 27). Estes dois últimos locais têm a particularidade de estarem localizados perto de duas estações do Metro, o primeiro da estação dos Aliados e o segundo da estação do Bolhão.

A ordem apresentada na figura 5.63 não é concordante com a que as medições foram realizadas. Os pontos 26 e 27 foram analisados no dia 5 de Abril de 2011 (terça-feira) e os restantes no dia 7 de Abril de 2011 (quinta-feira). Tal sucedeu como forma de aproveitar a proximidade entre os diferentes locais analisados ao longo deste trabalho. As condições meteorológicas são as constantes no quadro 5.18.

Quadro 5.18: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP) [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
5/4/2011	3ª feira	Céu Limpo	25	45	3,5
7/4/2011	5ª feira	Céu Limpo	23	46	3,4

No que diz respeito ao ruído, o PDM do Porto [40] indica que os locais 21, 22, 24 e 25 se localizam em zonas *sensíveis* (Hospital de São João, Instituto Português de Oncologia- IPO e Faculdades). Já os locais 26 e 27 situam-se numa zona *mista*. A figura 5.64 demonstra as classificações descritas.

Para o local 23, situado em Vila Nova de Gaia, a carta de condicionantes [50] classifica o local como zona *mista* (ver figura 5.65).

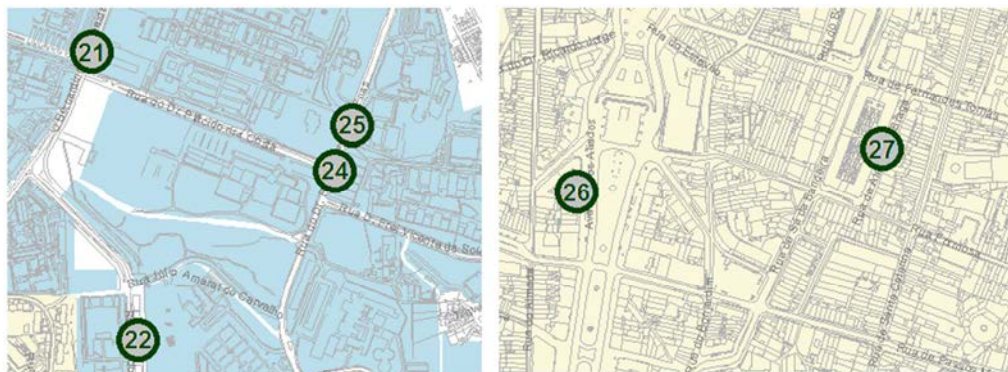


Fig. 5.64: Carta das condicionantes da cidade do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona *mista*; azul: zona *sensível*) [41].

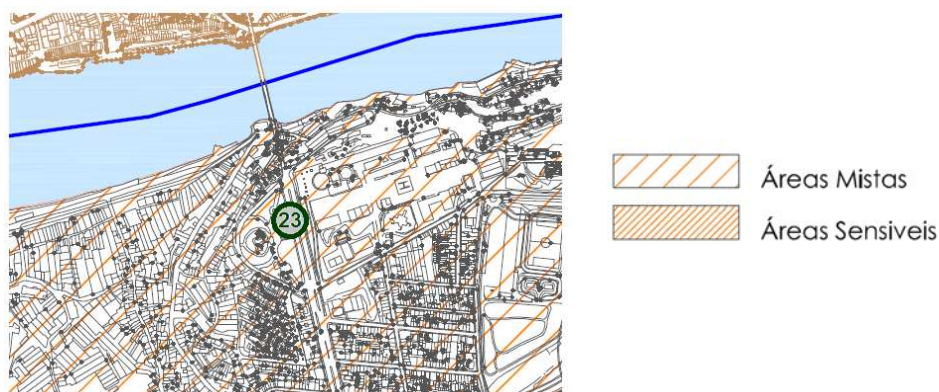


Fig. 5.65: Carta de condicionantes de Vila Nova de Gaia, relativa ao zonamento quanto à sensibilidade ao ruído, em que se classifica o local 23 como uma área *mista* [50].

As figuras 5.66 a 5.73 são fotografias tiradas aquando das medições nos locais designados. Observam-se alguns pormenores que podem ter interferido nos valores obtidos.

Nos locais 25 e 27 (figuras 5.70 e 5.73) existiu a situação dos autocarros pararem mesmo em frente ao sonómetro o que naturalmente influenciou nos valores obtidos.

Na paragem situada na Rua Dr. Roberto Frias (25), durante o período de medição pararam dois autocarros em frente ao sonómetro, o primeiro aos cinco minutos e o segundo aos oito minutos. Ambos estiveram cerca de dois minutos parados no mesmo local mas em funcionamento provocando, respectivamente, variações nos valores registados para o L_{Aeq} de 1,5 dB e 2,8 dB. Estes valores foram obtidos através da subtracção do valor inicial, que o sonómetro marcava quando o autocarro chegava, ao valor final, quando este partia.

Na Rua Alexandre Braga (27) e na estação do Pólo Universitário (22) o trânsito era reduzido. Para o local 27 registou-se o número de veículos que passaram: quatro veículos ligeiros e cinco veículos pesados de passageiros (um deles, à semelhança do que aconteceu no local 25, parou em frente ao sonómetro durante 4 minutos). Para um período de 15 minutos, perfaz um fluxo de 1,7 veículos por minuto.

Para os locais situados na Rua Dr. Roberto Frias (24 e 25) existia o problema de obras a decorrer em frente ao local de medição (construção das novas instalações da Faculdade de Medicina). Durante o período das medições estas estiveram paradas por se tratar da hora de almoço, não afectando os valores obtidos.

Para os locais com Metro à superfície, local 21 e 23, não se verificaram alterações significativas nos valores do sonómetro aquando da passagem deste. O Metro circula, para os dois locais, nos dois sentidos com um intervalo de cerca de 5 minutos, tendo-se verificado que durante alguns segundos os dois veículos de cada sentido estavam parados na mesma estação. O arranque das carruagens não se sucedeu ao mesmo tempo em ambos os locais. A partida está acompanhada dum sinal sonoro, quando as portas fecham, e existe ainda o aviso sonoro da chegada de novos veículos.

A Avenida dos Aliados (26) apresenta a característica de se situar no coração da cidade e como tal verifica-se trânsito compacto e fluido neste local. Contudo não se constatou um grande volume de autocarros a parar durante o período de medição (contaram-se apenas quatro). A figura 5.72 é referente a um autocarro de turismo que parou neste local.



Fig. 5.66: Medição na estação do IPO, ponto 21 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.67: Medição na estação do pólo Universitário, ponto 22 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.68: Medição na estação do Jardim do Morro (V. N. de Gaia), ponto 23 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.69: Medição na Rua Dr. Roberto Frias, ponto 24 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.70: Medição na Rua Dr. Roberto Frias, junto à paragem de autocarros, ponto 25 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.71: Medição na Avenida dos Aliados, vista para a câmara municipal, ponto 26 [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.72: Medição na Avenida dos Aliados, ponto 26 [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.73: Medição na Rua Alexandre Braga, ponto 27 [fotografia do autor, 5/4/2011].

5.4.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A figura 5.74 exibe os valores descritos no quadro 5.19, onde apresentam-se os resultados obtidos nos sete diferentes locais para os parâmetros estudados. Apresentam-se igualmente as durações e a hora em que se realizaram as medições.

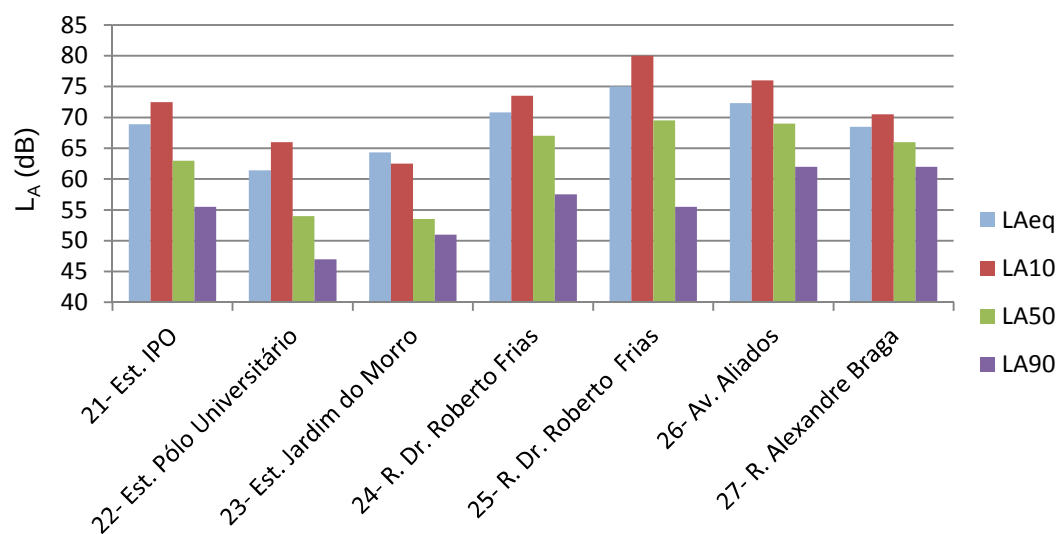


Fig. 5.74: Valores obtidos nas medições nos sete locais relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP).

Quadro 5.19: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 21 a 27, relacionados com os transportes públicos (Metro e STCP).

Pt	Local	Data	Hora	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
					L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL _A *
21	Estação IPO	7/4/2011	15h04	15	68,9	72,5	63,0	55,5	17,0
22	Estação Polo Universitário	7/4/2011	15h33	15	61,4	66,0	54,0	47,0	19,0
23	Estação Jardim do Morro	7/4/2011	16h08	15	64,3	62,5	53,5	51,0	11,5
24	R. Dr. Roberto Frias	7/4/2011	14h36	15	70,8	73,5	67,0	57,5	16,0
25	R. Dr. Roberto Frias (paragem autocarros)	7/4/2011	14h18	16	75,0	80,0	69,5	55,5	24,5
26	Av. dos Aliados	5/4/2011	14h49	15	72,3	76,0	69,0	62,0	14,0
27	R. Alexandre Braga	5/4/2011	15h40	15	68,5	70,5	66,0	62,0	8,5

*ΔL_A = L_{A10}-L_{A90}. Representa o acréscimo sobre o “ruído de fundo”.

5.4.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Existem quatro diferentes situações para avaliar neste ponto:

- Tipo de estação;
- Rua com ou sem Metro à superfície;
- Influência da paragem de autocarros no ruído;
- Estação de metro vs. paragem de autocarro.

Para facilidade de análise, em cada alínea começa-se por introduzir os aspectos a abordar com os gráficos dos valores do parâmetro L_{Aeq} a comparar, apresentando-se para casos específicos figuras com outros parâmetros para melhor esclarecimento.

Antes de iniciar a análise destas alíneas faz-se um breve comentário sobre o acréscimo relativo ao ruído de fundo dado pelo parâmetro ΔL_A (=L_{A10}-L_{A90}).

Como se tem observado ao longo deste trabalho, para os locais situados em zonas urbanas consolidadas o seu valor é mais alto, resultado provável da presença de ruídos mais elevados e de curta duração como a passagem dos automóveis. Comparando com os valores dos restantes subcapítulos, deve-se referir que neste ponto o ΔL_A tem valores mais elevados (de 8,5 a 24,5 dB) resultando dos seguintes possíveis factores: ruídos elevados como os autocarros nos locais 25 e 26, e por outro lado ruídos de fundo baixos como os que se encontram nos locais 22 e 25. A presença destes dois factores no ponto 25 (R. Dr. Roberto Frias) origina os espantosos 24,5 dB, que são respeitantes a uma paragem de autocarros.

a) Tipo de estação

Nesta primeira alínea é objectivo conseguir distinguir a diferença existente entre os diferentes tipos de estações, através da análise dos níveis sonoros, visíveis nas figuras 5.75 e 5.76, medidos nos locais 21, 22 e 23.

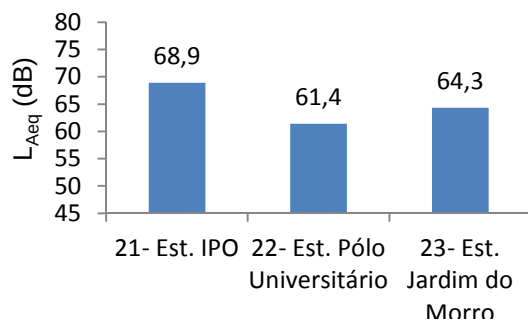


Fig. 5.75: Destaque do valor do L_{Aeq} para os três tipos de estações de metro analisadas.

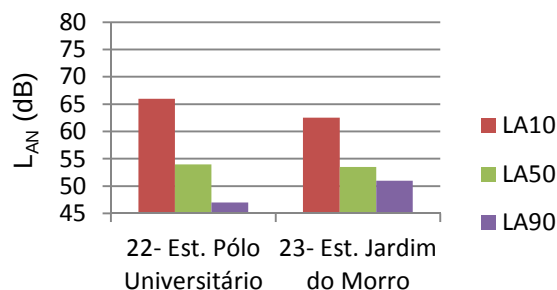


Fig. 5.76: Destaque dos valores dos parâmetros estatísticos para os locais 22 e 23.

Como esperado e óbvio, as estações à superfície são mais ruidosas e o valor do L_{Aeq} é mais elevado na presença de trânsito rodoviário. A diferença, no valor do nível sonoro contínuo equivalente percebido exteriormente, entre uma estação à superfície com automóveis a circular na proximidade (local 21) e uma estação à superfície onde não se encontra trânsito rodoviário na proximidade (local 23) é de cerca de 5 dB. Entre a primeira situação e uma estação subterrânea (local 22) a diferença aumenta em quase 3 dB, passando a ser próximo dos 8 dB.

Note-se que a diferença entre a estação do Jardim do Morro e o Pólo Universitário traduz-se, tal como se observa nos parâmetros estatísticos da figura 5.76, num ruído de fundo ligeiramente mais elevado e num ruído de ponta mais baixo para o jardim do Morro, sinal de que neste local existe respectivamente uma maior influência dos sons de origem natural e uma menor influência do trânsito rodoviário, em que sempre que passa um conjunto de veículos existe um conjunto de ruídos com níveis sonoros mais elevados e de curta duração, ruído este que é substituído pela passagem do Metro.

Embora se possa considerar que estes valores são muito redundantes, em primeiro lugar porque existem outras estações à superfície que provavelmente tem valores mais reduzidos e por outro que existem estações subterrâneas onde se verifica o contrário, de facto os valores não deixam de ser curiosos pois demonstram o quanto se pode intervir em termos de redução do ruído com a escolha de uma solução diferente para um dado local.

Obviamente existem outros factores a ter em conta na escolha de um tipo de estação que são mais preponderantes que o ruído (geografia, presença de edifícios, tipo de piso, aspectos económicos, tempo de execução, etc.). Com estes valores adiciona-se no entanto uma nova informação quantitativa que pode apresentar alguma relevância para futuras decisões.

Como se disse anteriormente, os locais 21 e 22 localizam-se numa zona sensível, o que de acordo com o RGR de 2007 significa que o L_{den} nesses locais deve ser inferior a 55 dB(A). Este limite pode não se cumprir uma vez que os valores obtidos (em período diurno) são superiores a 55 dB para o L_{Aeq} . Quanto à estação do Jardim do Morro, que se situa numa zona mista, é possível que se esteja a cumprir o RGR pois o valor do L_{Aeq} (diurno) é inferior a 65 dB.

Verifica-se para estas situações, a redundância que se falou anteriormente, pois mesmo que na estação do IPO a estação do Metro fosse subterrânea, mesmo admitindo que o trânsito se assemelhasse ao que existe na estação do Pólo Universitário, de facto o L_{Aeq} não seria inferior a 55 dB. Se se admitir que o local da medição localiza-se numa zona *mista*, então nesse caso a diferença entre uma estação à superfície ou uma estação subterrânea com trânsito rodoviário poderia demonstrar-se vantajosa.

Note-se que no caso do Jardim do Morro, a construção de uma estação subterrânea além de apresentar maiores custos e de se demonstrar impraticável, uma vez que a carruagem do metro tem de atravessar a Ponte D. Luís I, não traria vantagens em termos do cumprimento do RGR de 2007, apesar de se admitir que dessa forma existiria um menor impacto visual.

b) Rua com ou sem Metro à superfície

Passando agora para o segundo aspecto, pretende-se saber se a existência da linha do Metro à superfície traz alterações no ruído significativas, uma vez que a sua presença diminui o espaço de circulação e como tal pode originar congestionamento do tráfego rodoviário (além do próprio ruído do Metro).

Na figura 5.77 comparam-se os valores do local 21 e do local 24 que se situam em ruas paralelas e que envolvem o Hospital de S. João. Na Rua Dr. Roberto Frias (local 24) existem três vias, enquanto na Rua António Bernardo Almeida (local 21) existem apenas duas, pois a terceira está ocupada pela linha do metro. Ambas são de sentido único para o trânsito rodoviário, existem diferentes instituições de ensino e de saúde em ambos os lugares desencadeadores da circulação dos veículos. Reconhece-se que para uma maior fiabilidade destas afirmações deveria realizar-se um estudo prático, como a contagem de veículos, verificando assim a equivalência entre as duas ruas. A falta de recursos em termos de tempo inviabilizou esta possibilidade.

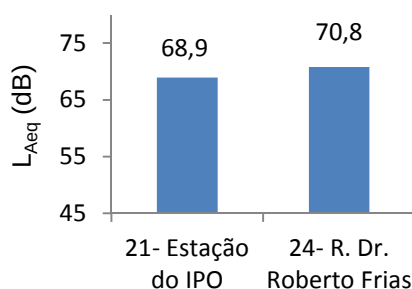


Fig. 5.77: Destaque dos valores de L_{Aeq} para os locais 21 e 24.

Os dados recolhidos indicam que a presença do Metro não se demonstra perturbadora. De facto, a presença da linha do Metro introduz uma redução do ruído, ainda que pouco significativa, de cerca de 2 dB(A) (figura 5.77). Uma vez que a linha do Metro obriga à redução do número de vias para circular, esperava-se que houvesse um aumento do ruído derivado ao congestionamento da circulação automóvel. Como tal não se verificou, fica a dúvida se não existirão outros factores que possam ter influenciado esta comparação: não existir correspondência entre o tráfego das duas ruas, existir influência da hora em que se realizaram as medições, a presença do Metro nesta rua motivar o desvio do trânsito ou até a redução da

velocidade. Este resultado deixa uma conclusão interessante de que a presença da linha do Metro à superfície não significa por si só sinal de aumento do ruído para um local.

c) Influência das paragens de autocarros no ruído

No que diz respeito à paragem dos autocarros, antes de avançar para a comparação entre locais faz-se uma pequena comparação entre os valores dos locais 24 e 25 situados na Rua Dr. Roberto Frias (sem e com paragem de autocarros). A existência da paragem dos autocarros permite a verificação do efeito que este tem no ruído para lugares que se situam na proximidade. Os valores do L_{Aeq} das duas medições realizadas nesta rua são comparados na figura 5.78.

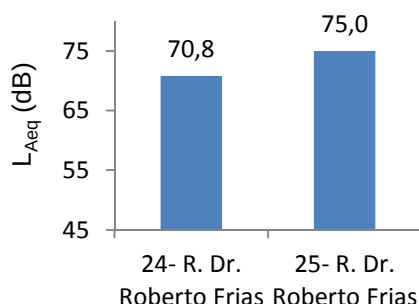


Fig. 5.78: Destaque dos valores de L_{Aeq} para os locais 24 e 25.

Estes valores demonstram que os locais mais próximos de uma paragem de autocarro sofrem perturbações significativas no nível sonoro contínuo equivalente que se parecem traduzir num aumento de cerca de 4 dB. Note-se que entre os dois locais onde se realizaram as medições a distância é de cerca de 25 metros.

Relacionado com esta reflexão, ainda antes de se passar para a comparação dos valores obtidos com a medição dos níveis sonoros nas estações de autocarros, fazem-se alguns breves comentários que se centram na correspondência entre as características das paragens.

A paragem que se situa na Rua Dr. Roberto Frias apresenta uma grande afluência (tal pode ser comprovado pelas pessoas que curiosamente a fotografia da figura 5.70 apanhou a abrigarem-se do Sol debaixo de uma árvore enquanto esperavam pelo autocarro) e que se situa num espaço aberto idêntico ao existente na Avenida dos Aliados, possivelmente até com um volume de tráfego semelhante. Espera-se que a comparação entre estes dois locais dê uma ideia de como o Metro alterou o ruído na Avenida dos Aliados. Pode-se questionar se o valor medido não traduz apenas o ruído gerado pelo tráfego rodoviário existente na avenida, mas esta pequena experiência mostra que a proximidade de uma paragem de autocarros pode ser relevante no que diz respeito ao nível sonoro contínuo equivalente medido.

Compararam-se os valores obtidos perto das três paragens de autocarros (locais 25, 26 e 27), em que se verificam diferentes condições do tráfego (figura 5.79). Esta avaliação tem a particularidade de os dois últimos lugares serem equivalentes à medição realizada no local 22, pois de igual modo também existem estações de metro subterrâneas nestes locais. Contudo, como existem muitos efeitos circundantes que interferem e sobrepõem-se a este factor (localização no centro da cidade, proximidade a ruas com tráfego compacto, ruídos de outras fontes), optou-se por não os incluir no primeiro conjunto de análise.

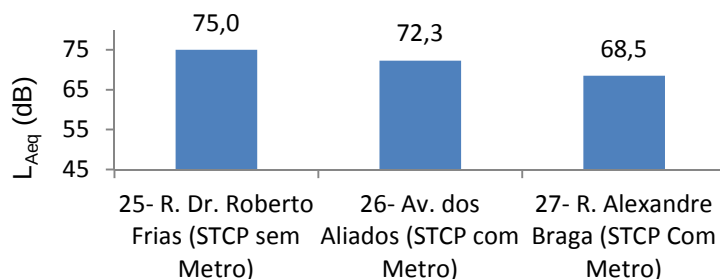


Fig. 5.79: Destaque dos valores do L_{Aeq} para as três paragens de autocarros analisadas.

Analisando os valores da figura 5.79, constata-se que de facto o ruído diminuiu de forma considerável nas paragens de autocarros situadas perto de estações do Metro (26 e 27). Embora a artimanha empregue não seja tão fiável como a comparação com valores medidos no mesmo local para um ano anterior ao da introdução do Metro, os dados apresentados são categóricos ao demonstrar as diferenças de cerca 3 dB na paragem situada nos Aliados (26) e quase de 7 dB na paragem situada na Rua Alexandre Braga (27).

Esta última paragem (ponto 27) situa-se num local muito movimentado, onde se deslocam pessoas tanto para ir ao mercado do Bolhão como para ir à Rua Santa Catarina, ou até a outro local da baixa do Porto. Claro que mesmo para este local existem factores que deixam muitas dúvidas, como a questão do tráfego que é de facto muito reduzido. Mesmo assim deve-se ter em conta que existiu um autocarro que parou durante 4 minutos em frente ao sonómetro e que a própria organização espacial e arquitectónica da rua não é favorável à atenuação do ruído como os restantes locais estudados. Este último aspecto pode ser comprovado pelo valor do ruído de fundo que é tão elevado como na Avenida dos Aliados onde existe um maior número de veículos a circular. Pode-se mesmo notar que apesar do tráfego reduzido existe um L_{Aeq} de 68,5 dB, superior aos 65 dB estabelecidos para o L_{den} (diurno) nas zonas mistas.

d) Estação do Metro versus paragem de autocarros

Finalmente, procede-se à comparação entre o ruído existente numa estação de metro (locais 21, 22 e 23) e numa paragem de autocarro (locais 25, 26 e 27). Verifica-se que, para as situações avaliadas, a introdução de uma paragem de metro apresenta-se vantajosa para quase todos os casos estudados (o valor médio aritmético do L_{Aeq} passa de 72 para 65 dB). Só numa situação se constata que as duas soluções podem ser equivalentes: na comparação dos valores da estação do IPO e da paragem na Rua Alexandre Braga. No entanto deve-se notar que no segundo caso já existe uma estação de Metro subterrânea a funcionar no local.

5.5. RUÍDOS DE ORIGEM NATURAL

5.5.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Na cidade do Porto existem ruídos (ou sons) que não são provocados pelo Homem mas de origem natural, como a água a cair de fontes (embora se possa considerar que a fonte é artificial o som dela originado é natural), árvores agitadas pelo vento, aves, mar, etc. Estes ruídos (ou sons) existem durante todo o ano independentemente das actividades do Homem, embora as suas características não sejam constantes.

Ao perguntar se estes sons são agradáveis ou não, pode surgir a questão se de facto se fala de ruído, em especial se os seus níveis sonoros são comparáveis aos do tráfego mas provocando diferentes respostas subjectivas. No entanto, se admitir que se fala da permanência em lugares com níveis sonoros elevados, principalmente num período de descanso, a questão da natureza do som é menos importante face à sua possível incomodidade.

Não é objectivo deste trabalho discutir a incomodidade dos ruídos naturais nem arranjar processos novos para os reduzir, mas realizar medições para os caracterizar e comparar. No entanto este caso de estudo suscita algumas perguntas:

- Será que o ruído do tráfego rodoviário apresenta valores idênticos aos ruídos naturais?
- Será que dependendo da fonte do ruído interpretamos o mesmo L_{Aeq} de maneira diferente?
- Será que os nossos regulamentos são muito exigentes ao impor limites que podem ser ultrapassados pela própria natureza num dia normal?

Os locais escolhidos para o presente estudo são os que se apresentam no quadro 5.19. Neste, além da identificação do local, identifica-se também o tipo de som que se pretende analisar bem como o dia e a hora em que se realizaram as medições.

Os locais referidos no quadro 5.20 situam-se nos pontos numerados de 28 a 33 na figura 5.80. Procurou-se que os lugares escolhidos fossem espaços abertos ao público, não apenas por razões de acessibilidade para realizar as medições, mas também para que correspondessem a locais com significado para a população portuense, aos quais se podem deslocar livremente por motivos de puro lazer.

Quadro 5.20: Locais onde se realizaram as medições para analisar o ruído de origem natural.

Ponto	Local	Figura	Tipo de som preponderante	Dia	Hora
28	Jardim José Roquette (freguesia da Foz)	5.75	Água a cair	4/4/2011	18h13
29	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	5.76	Água a cair	7/4/2011	17h54
30	Praia na Rua do Coronel Raúl Peres (freguesia da Foz)	5.77	Mar	4/4/2011	18h50
31	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	5.78	Aves e Árvores*	5/4/2011	11h12
32	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	5.79	Aves, Árvores e Água a cair	7/4/2011	17h36
33	Serra do Pilar (V. N. Gaia)	5.80	Vento	7/4/2011	16h35

* Por “árvores” entende-se o som produzido pelo agitar das folhas/ramos provocado pelo vento.

Como se observa, três dos locais do quadro 5.20 (e figura 5.80) localizam-se no Palácio de Cristal (o 31 e o 32 na realidade são o mesmo sítio mas a horas e dias diferentes). É difícil separar o som das aves dos restantes ruídos de origem natural pelo que se realizaram duas tentativas no Jardim do Palácio de Cristal para conseguir captar este ruído. Uma vez que o

ambiente não é o de um laboratório onde se pode isolar um conjunto de aves e medir o nível sonoro que estas produzem, decidiu-se que os valores resultantes têm como origem as duas fontes identificadas (aves e árvores).



Fig. 5.80: Localização dos seis locais identificados de 28 a 33, onde se realizaram medições para avaliar os ruídos de origem natural [adaptado de 36].

O local com o número 29 está situado em cima de uma ilha artificial que fica no meio do lago do jardim do Palácio de Cristal. Na figura 5.82 pode-se observar que a toda a volta dessa ilha existe uma queda de água, tendo-se aproveitado para medir a sua influência sobre o ruído aproximando-se o sonómetro desta (no dia 5 de Abril a fonte não estava a funcionar).

É impossível isolar no ambiente exterior uma fonte de ruído das restantes, por isso no local 32 (Fig. 5.85) não se estuda apenas o ruído das aves e das árvores mas também o da água a cair.

O local com o número 33 (Fig. 5.86) situa-se no concelho de Vila Nova de Gaia, ao qual se decidiu recorrer pois tratando-se de um som de origem natural o seu impacto é tão válido num território próximo como dentro da própria cidade do Porto (desde que em termos geográficos e geológicos não se verifiquem grandes alterações, o que é o caso). Tratando-se da medição do ruído proporcionado pelo vento, a escolha do local 33 pareceu a mais interessante por se tratar de um ponto alto, além de que possui menos árvores e se situa virado para as escarpas do rio Douro, onde se cria uma espécie de corredor por onde o vento circula. Tentou-se desta maneira, dentro do ambiente urbano, medir o ruído mais elevado que qualquer pessoa possa sentir sempre que se deslocam a um local apenas por lazer, para um dia considerado normal em termos meteorológicos.

As figuras 5.81 a 5.86 mostram algumas fotografias das medições realizadas nos diferentes locais e dias.

As condições do tempo têm grande impacto para este caso, pelo que se indicam no quadro 5.21 as características do estado do tempo. Deve-se referir que “naturalmente” podem surgir situações, como as tempestades e os dias de chuva, em que o ruído de origem natural é por si só suficiente para ultrapassar os limites impostos pelos regulamentos. A questão que se impõe é se num dia considerado normal tal pode acontecer?

No que diz respeito ao estado do mar, de acordo com o Instituto Hidrográfico no dia 4 de Abril a altura das ondas do mar era de 3,29 m às 16h25 (preia-mar) para o porto de Leixões [51].

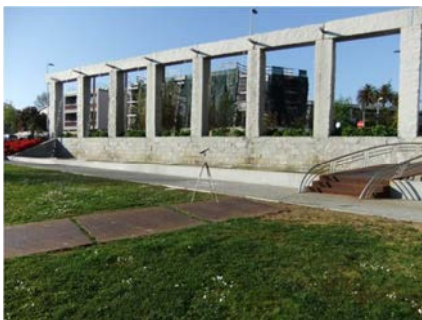


Fig. 5.81: Medição do ruído da água a cair no local 28 [fotografia do autor, 4/4/2011].



Fig. 5.82: Medição do ruído da água a cair no local 29 [fotografia do autor, 7/4/2011].

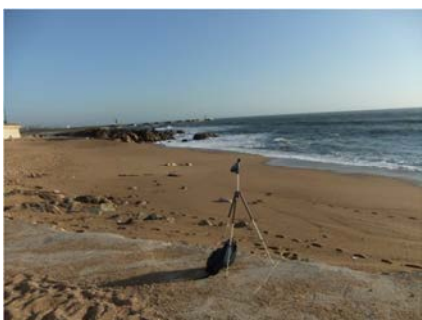


Fig. 5.83: Medição do ruído do mar no local 30 [fotografia do autor, 4/4/2011].



Fig. 5.84: Medição do ruído das aves e árvores no local 31 [fotografia do autor, 5/4/2011].



Fig. 5.85: Medição do ruído da água a cair, aves e árvores no local 32 [fotografia do autor, 7/4/2011].



Fig. 5.86: Medição do ruído do vento no local 33 [fotografia do autor, 7/4/2011].

Quadro 5.21: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) nos dias em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com ruídos de origem natural [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
4/4/2011	2ª feira	Céu Limpo	18	54	3,7
5/4/2011	3ª feira	Céu Limpo	25	45	3,5
7/4/2011	5ª feira	Céu Limpo	23	46	3,4

Para terminar a apresentação dos locais onde se realizaram as medições, falta classificar as zonas quanto à sensibilidade ao ruído, de acordo com o PDM dos municípios. A figura 5.87 mostra a classificação para os locais situados no Porto, onde se verifica que os locais 28 e 30 estão numa zona *mista* (amarelo) e os locais 29, 31 e 32 estão numa zona *sensível* (azul). O local 33, situado em Vila Nova de Gaia, pertence a uma zona *mista* (figura 5.88).

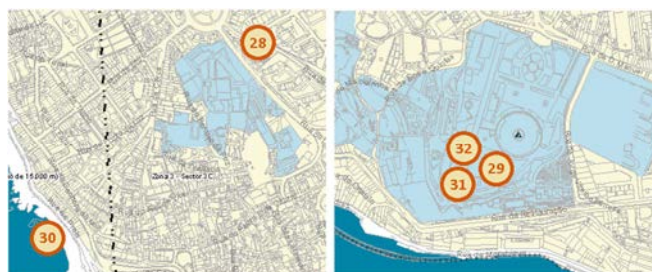


Fig. 5.87: Localização dos pontos 28 a 32 na Carta das Condicionantes da cidade do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona *mista*; azul: zona *sensível*) [41].

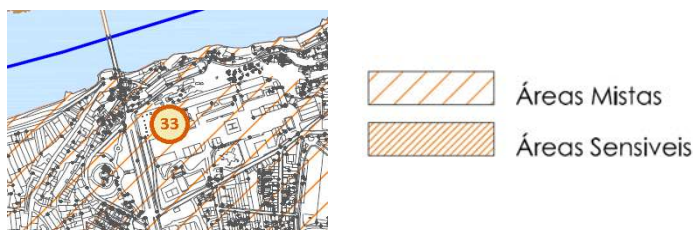


Fig. 5.88: Carta de condicionantes de Vila Nova de Gaia, relativa ao zonamento quanto à sensibilidade ao ruído, em que se classifica o local 33 como uma área *mista* [50].

5.5.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A figura 5.89 exhibe um gráfico com os valores descritos no quadro 5.22, onde apresentam-se os valores obtidos nos diferentes locais para os parâmetros estudados. Apresentam-se igualmente as durações das medições.

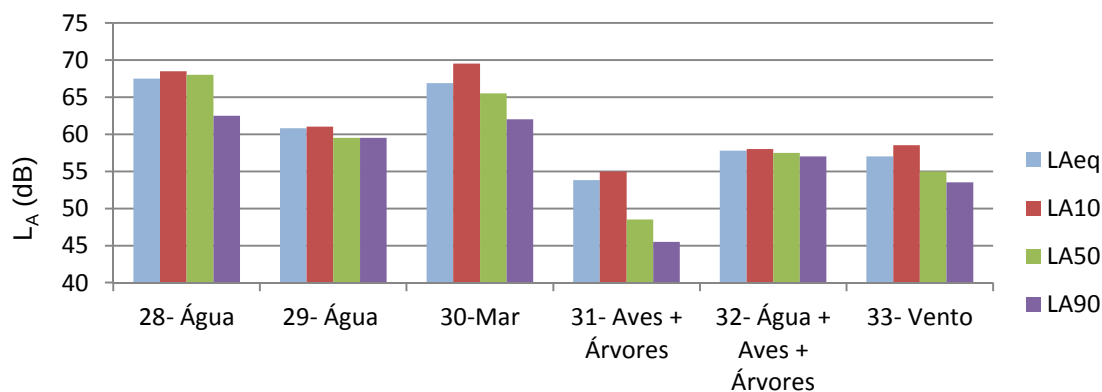


Fig. 5.89: Valores obtidos nas medições nos seis locais relacionados com os ruídos de origem natural.

Quadro 5.22: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 28 a 33, relacionados com os ruídos de origem natural.

Pt	Local	Duração (minutos)	Parâmetro (dB)				
			L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL_A^*
28	Jardim José Roquette (freguesia da Foz)	16	67,5	68,5	68,0	62,5	6,0
29	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	15	60,8	61,0	59,5	59,5	1,5
30	Praia na Rua do Coronel Raúl Peres (freguesia da Foz)	15	66,9	69,5	65,5	62,0	7,5
31	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	15	53,8	55,0	48,5	45,5	9,5
32	Jardim do Palácio de Cristal (freguesia de Massarelos)	15	57,8	58,0	57,5	57,0	1,0
33	Serra do Pilar (V. N. Gaia)	15	57,0	58,5	55,0	53,5	5,0

* $\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$. Representa o acréscimo sobre o “ruído de fundo”.

5.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste subcapítulo pretende-se desenvolver dois aspectos: a análise dos valores dos ruídos de origem natural e a sua comparação com os de origem “artificial” que se encontram na cidade do Porto.

1. Ruídos de origem natural

Um dos parâmetros que espontaneamente surge como elemento de comparação é o L_{Aeq} . Através da figura 5.90 procede-se à confrontação dos valores alcançados para os diferentes tipos de ruídos de origem natural. Verifica-se que os valores mais elevados, em termos de L_{Aeq} , são os que estão relacionados com a água.

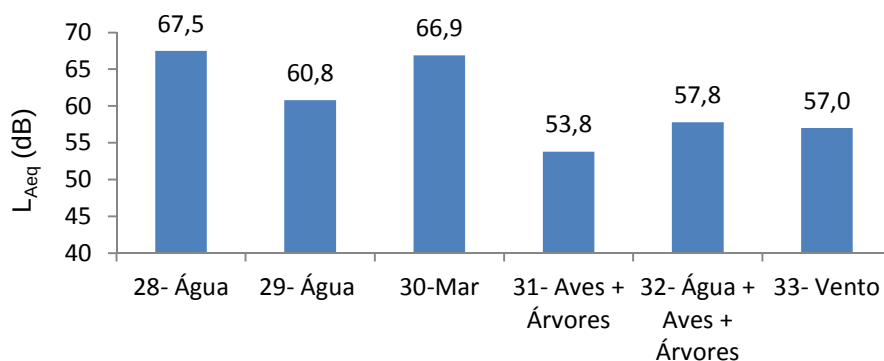


Fig. 5.90: Valores do L_{Aeq} para os diferentes tipos de ruídos de origem natural medidos.

A figura 5.89 permite detectar um efeito curioso, que consiste no facto de que nos locais onde existe água a cair continuamente os parâmetros estatísticos assumem valores quase idênticos. Tal não se verifica no local 28, muito provavelmente porque durante a medição ocorreu uma paragem no funcionamento da fonte de aproximadamente 3 minutos, durante a qual o nível sonoro contínuo equivalente reduziu 0,9 dB, tendo o ruído do tráfego rodoviário influenciado as medições durante esse tempo. Os restantes ruídos apresentam variações nos valores dos parâmetros estatísticos que podem ser considerados normais quando os sons emitidos não são contínuos.

Junto ao mar, verifica-se que o ruído toma um valor de fundo (L_{A90}) um pouco alto de 62,0 dB. Entre o valor de ponta (L_{A10}) e o de fundo existe uma diferença de 7,5 dB, o que pode traduzir o efeito do bater das ondas.

No local 31 o L_{A50} e o L_{A90} têm valores cerca de 10 dB mais baixos que o L_{A10} . Estes são demonstrativos do efeito que o som das aves pode ter no ruído, embora no valor global este não seja tão preponderante. Pode-se verificar que os valores recolhidos no local 31, com as condições descritas inicialmente, não se traduzem num ruído incomodativo.

Para o caso 32, que se traduz na medição no local 31 mas com um novo ruído que consiste no som da água a cair, verifica-se que existe um aumento do L_{Aeq} e que de certa forma os restantes sons são abafados, pois os valores dos parâmetros estatísticos tomam um aspecto gráfico similar ao de um som contínuo.

Sobre o ruído do vento, verifica-se que, para o dia analisado, os níveis sonoros medidos não tomam valores muito elevados, sendo que de todos os locais avaliados o vento apenas supera o ruído das aves e das árvores medido no Palácio de Cristal no dia 5 de Abril.

Uma vez quantificados os ruídos de origem natural, prossegue-se com a comparação dos limites estipulados no RGR de 2007. Atendendo aos locais onde os ruídos foram medidos encontram-se duas classificações: zonas mistas e zonas sensíveis, o que obriga a valores de L_{den} inferiores a 65 dB(A) e 55 dB(A) respectivamente.

Curiosamente, para as zonas mistas apenas o ruído proveniente do vento tem um L_{Aeq} inferior a 65 dB. Os restantes ruídos apresentam valores de L_{Aeq} muito próximos dos 65 dB. Deve-se notar contudo que estes resultados são fruto dos dias (e dos períodos do dia) em que se realizaram as medições, e que é muito provável que ao longo do ano existem situações em que os ruídos de origem natural são por si só suficientemente elevados para “ultrapassarem” o limite definido para estes locais de forma mais acentuada. Para a zona sensível verifica-se também uma situação curiosa que “obrigaria” a que a fonte no centro do lago estivesse desligada, pois os dois locais analisados com esta a funcionar apresentam valores de L_{Aeq} superiores a 55 dB.

Estes resultados levantam um problema interessante, pois se em dias considerados sossegados, com ventos abaixo dos 5 m/s, com mar calmo e céu limpo não se consegue obter valores abaixo dos 55 dB em zonas sensíveis ou 65 dB nas zonas mistas, como será no resto do ano?

2. Ruídos de origem natural versus ruídos presentes no ambiente urbano.

Para o desenvolvimento deste ponto escolheram-se os locais estudados no primeiro caso que representa o ruído do ambiente urbano consolidado do Porto. Os seus valores constam no quadro 5.2. Através das figuras 5.28 e 5.89 verifica-se que à excepção dos ruídos em que intervém o som da água (nos locais 28, 29 e 32), os gráficos dos ruídos naturais apresentam formas similares aos ruídos urbanos.

Relativamente aos valores do L_{Aeq} , a figura 5.91 exhibe os diferentes valores para os locais estudados. Neste constata-se que o L_{Aeq} dos ruídos naturais assume valores não muito diferentes dos que existem em ambiente urbano, com a excepção dos últimos três locais (do 31 ao 33). Os pontos 28 e 30 chegam a ter valores do L_{Aeq} maiores ou iguais a cinco dos nove pontos localizados em meio urbano. Esta conclusão já se imaginava possível através do estudo realizado no ponto anterior.

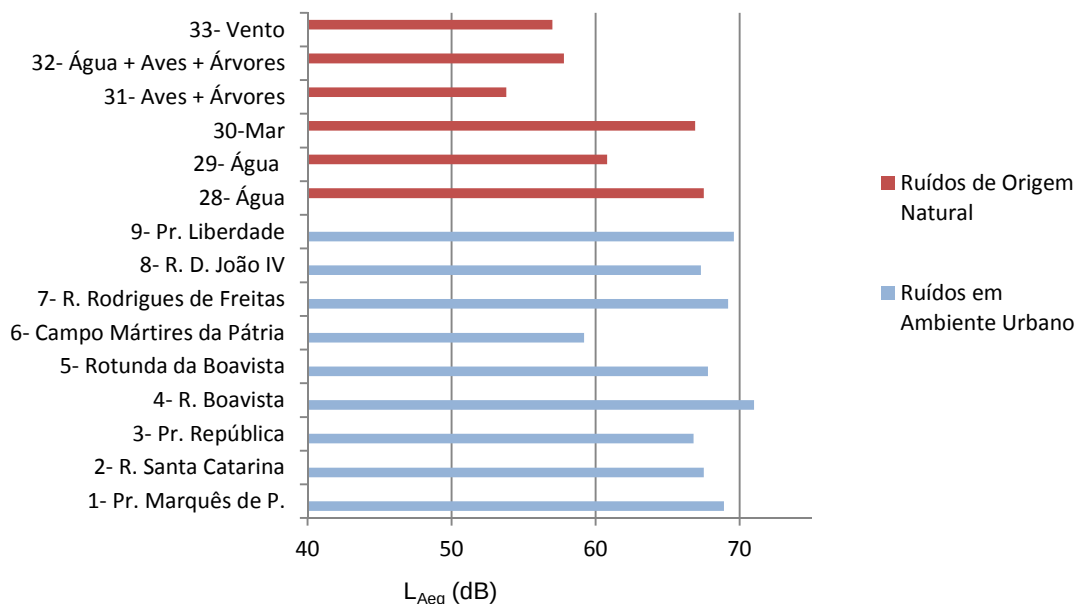


Fig. 5.91: Valor do L_{Aeq} para os nove locais situados em meio urbano (1 a 9) e para os seis locais referentes a ruídos naturais (28 a 33).

Note-se que no caso do ponto 6 (Campo dos Mártires da Pátria), os valores aí medidos chegam a ser inferiores aos existentes à beira do mar (local 30) ou de uma fonte com água a cair (locais 28 e 29). A fonte situada no Jardim José Roquette (local 28) por seu lado chega a apresentar valores superiores aos da Praça da República (local 3) e da rua D. João IV (local 8).

Os valores médios dos ruídos de origem natural são os que constam no quadro 5.23, onde se comparam com os ruídos de origem urbana. Dos ruídos naturais destacam-se três grupos: o ruído global, os locais 28 a 31, que se caracterizam por terem níveis sonoros mais elevados e por terem como fonte principal a água, e os restantes locais (32 a 33) com níveis sonoros mais baixos.

Comparando estes valores obtém-se a figura 5.92, que demonstra que em termos médios o ruído de origem natural global é inferior ao existente em ruas com ruídos provenientes das actividades humanas, em especial do tráfego rodoviário, com uma diferença de aproximadamente 8 dB para o L_{Aeq} . Atendendo à origem do ruído natural, verifica-se que nos locais em que o ruído da água predomina (28 a 30) essa diferença diminui para 3 dB e nos restantes existe um aumento de 12 dB.

Quadro 5.23: Valores médios (aritméticos) dos níveis sonoros dos ruídos de origem natural (pontos 28 a 33 de forma global ou considerando o predomínio ou não da água no ruído) e do ruído urbano (1 a 9, sem o ponto 6).

Valores Médios (dB)	L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	ΔL_A^*
Ruído Natural Global (28 a 33)	60,6	61,8	59,0	56,7	5,1
Ruído Natural, com o predomínio da água (28 a 30)	65,1	66,3	64,3	61,3	3,0
Ruído Natural, sem o predomínio da água (31 a 33)	56,2	57,2	53,7	52,0	5,2
Ruído Urbano (1 a 9, sem ponto 6)	68,5	70,8	66,0	61,7	9,1

* $\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$.

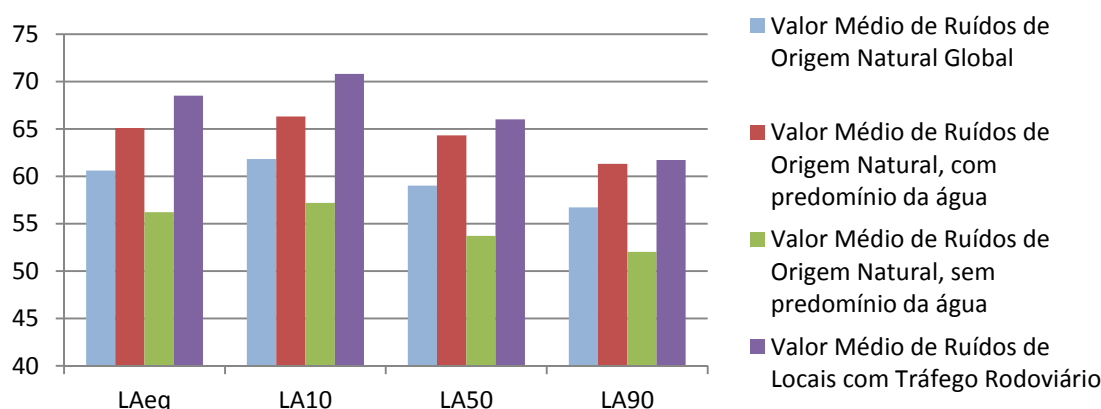


Fig. 5.92: Valores médios aritméticos dos diferentes níveis sonoros medidos em locais com ruído de origem natural e locais com ruído de tráfego rodoviário do primeiro caso de estudo.

Relativamente ao ΔL_A , os seus valores podem variar entre aproximadamente 1 e 9 dB (quadro 5.22). De acordo com o quadro 5.23, esta variação é em média menos alargada que a existente em comparação com os ruídos urbanos (menos 4 a 6 dB, neste último caso admitindo apenas os ruídos naturais com predomínio da água). Esta situação mostra as duas facetas dos ruídos naturais em que, como constatado anteriormente é possível encontrar valores para os diferentes parâmetros analisados muito próximos (caso da água a cair), resultando num ΔL_A reduzido, versus as situações idênticas ao local 31 (em que apenas existe o ruído das aves e das árvores) onde apesar dos níveis sonoros baixos é possível existir diferenças significativas entre os ruídos produzidos nos locais e o ruído de fundo.

Curiosamente, a diversidade de valores obtidos para o ΔL_A equipara-se aos detectados nos locais 10 a 15 junto à VCI (com a diferença que estes não chegam a ter valores tão baixos). De certa forma, estes dados vão de encontro com a questão da continuidade ou não dos ruídos produzidos nas Grandes Infra-estruturas de Transporte Rodoviário.

Após esta reflexão, conclui-se que na natureza é possível encontrar, conforme a opinião, “ruídos” ou “sons” cujos níveis sonoros são próximos ou equiparáveis aos existentes em meios com tráfego rodoviário. Será que estes ruídos “naturais” podem ser considerados como ruído de “mascaramento” do ruído de tráfego, permitindo às pessoas alhearem-se da sua envolvente? Note-se que não existe nenhuma distinção na legislação para estes ruídos!

5.6. RUÍDOS DE ACTIVIDADES DE ENTRETENIMENTO NOCTURNO NO PORTO

5.6.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Neste subcapítulo pretende-se analisar o ruído produzido por actividades de entretenimento nocturno na cidade do Porto, que decorrem em ruas situadas em antigos espaços de comércio, e compara-los com os restantes pontos avaliados.

Ao longo das medições realizadas neste trabalho deparou-se com o estado de degradação de muitos dos edifícios do Porto. A transformação de antigas ruas comerciais em locais de entretenimento nocturno apresenta-se à primeira vista como uma boa forma de torna-las mais atractivas potenciando o interesse na sua reabilitação. Nesta situação encontra-se o local estudado respeitante à Rua das Galerias de Paris na freguesia da Vitória na “baixa” do Porto (figura 5.93).



Fig. 5.93: Localização dos locais 34 e 35 na Rua das Galerias de Paris [adaptado de 36]. Destaque para a imagem da direita, referente à Carta das Condicionantes do Porto, onde se salienta a caracterização quanto ao ruído (amarelo: zona *mista*) [41].

Esta rua, construída em 1903, caracteriza-se por apresentar prédios elegantes, alguns em estilo Arte Nova. Desde 2007, abriram sucessivamente diferentes bares nesta antiga rua comercial, tornando-a num lugar de animação nocturna, especialmente aos fins-de-semana [42].

Anteriores medições de aproximadamente 30 minutos, realizadas no local 35 em período nocturno (entre as 1 e as 4 horas) pelo Laboratório de Acústica da FEUP nos dias 26 e 27 de Junho de 2010 (sábado e domingo respectivamente), demonstram que o valor médio do L_{Aeq} é da ordem dos 73 dB. Este valor foi obtido no exterior e resulta do simples ruído das pessoas a caminhar e a conversar. Em termos de sensibilidade ao ruído, o PDM do Porto classifica esta rua como pertencente a uma zona mista. De acordo com o Regulamento Geral do Ruído vigente, o valor máximo do L_n para uma zona mista é de 55 dB(A). O valor apresentado na medição não é para o período contínuo das 23 às 7 horas, mas deixa antever uma situação desastrosa, principalmente se existir a intenção de voltar a tornar o centro histórico habitável.

Para reproduzir o ruído existente no período diurno, realizaram-se medições no ponto 34 situado na esquina da Rua das Galerias de Paris com a Rua de Santa Teresa e no ponto 35 que coincide com o local analisado em 2010 (quadro 5.24).

Quadro 5.24: Locais onde se realizaram as medições para analisar o ruído proveniente de actividades nocturnas.

Ponto	Local	Figura	Dia	Hora da Medição
34	Esquina da Rua das Galerias de Paris com a Rua de Santa Teresa	5.92	11/5/2011	18h05
35	Rua das Galerias de Paris	5.93	11/5/2011	18h25
35n	Rua das Galerias de Paris	5.94	12/5/2011	00h50



Fig. 5.94: Local 34 situado na esquina da R. das Galerias de Paris [fotografia do autor, 11/5/2011]



Fig. 5.95: Local 35 situado na R. das Galerias de Paris [Fotografia do autor, 11/5/2011]

A rua em estudo apresenta-se muito pouco movimentada em termos de tráfego rodoviário (fig. 5.95). O número de veículos que passaram pelos dois locais foi de vinte e cinco para o local 34 e quatro para o local 35, o que dá respectivamente 1,7 e 0,3 veículos por minuto (ambas as medições demoraram 15 minutos). Estes valores são compensados pelo urbanismo do espaço que consiste em ruas estreitas com edifícios com uma cêrcea de 2 a 3 pisos (figs. 5.94 e 5.95).

Uma vez que o objectivo consiste em analisar o ruído nocturno, realizou-se também uma medição no dia 12/5/2011 às 00h50 no local 35 (passa a designar-se 35n para distinção). Sendo um dia da semana, pensa-se que o número de pessoas possivelmente não será tão significativo como o que existe no fim-de-semana (Fig. 5.96).

As condições meteorológicas para as diferentes medições estão descritas no quadro 5.25.



Fig. 5.96: Local 35n, situado na Rua das Galerias de Paris [fotografia do autor, 12/5/2011].

Quadro 5.25: Condições Meteorológicas (aeroporto do Porto) no dia em que se efectuaram as medições nos locais relacionados com o ruído de actividades de entretenimento nocturno [39].

Data	Dia da Semana	Estado do Tempo	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima (m/s)
11/5/2011	4ª feira	Céu Limpo	23	60	2,2
12/5/2011	5º feira	Céu Limpo	18	60	1,4

5.6.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No quadro 5.26 e na figura 5.97 apresentam-se os valores obtidos nos diferentes locais para os parâmetros estudados. Apresentam-se igualmente as durações das medições.

Quadro 5.26: Valores obtidos nas medições nos locais designados de 34, 35 e 35n (em 2010 e 2011), relacionados com os ruídos provenientes de actividades de entretenimento nocturnos.

Pt	Local	Dia da semana	Hora da Medição	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
					L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL _A
34	Esquina da R. das Galerias de Paris com a Rua de Santa Teresa	4ª feira	18h05	15	64,5	67,5	59,5	54,5	13,0
35	R. das Galerias de Paris	4ª feira	18h25	15	63,5	61,5	55,0	52,0	9,5
35n (2011)	R. das Galerias de Paris	5ª feira	00h50	15	70,6	73,0	69,0	66,0	7,0
35n (2010)	R. das Galerias de Paris	Sábado e Domingo	1-4 h	-	73	-	-	-	-

* $\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$. Representa o acréscimo sobre o “ruído de fundo”.

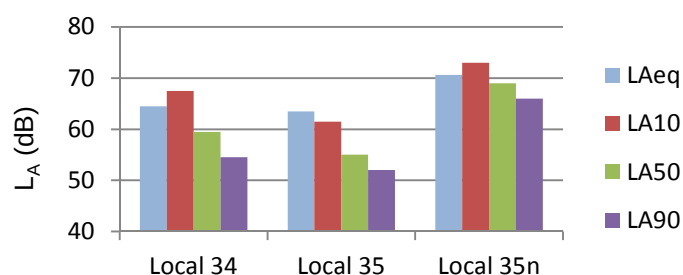


Fig. 5.97: Valores obtidos nas medições realizadas na R. das Galerias de Paris.

5.6.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste ponto procede-se à comparação dos valores diurnos com os nocturnos, de forma a caracterizar e quantificar o efeito da presença dos bares neste espaço.

Para caracterizar o ruído diurno, onde não existe a música dos bares e o ruído das pessoas na zona, fizeram-se duas medições, uma no centro da rua (ponto 35) e outra na esquina (ponto 34). O objectivo consiste em incluir o ruído dos veículos que passam numa das ruas circundantes e perceber como “funciona” a acústica deste espaço.

Os valores nos locais 34 e 35 mostram-se muito semelhantes, o que não deixa de ser curioso pois no primeiro local passaram cinco vezes mais veículos que no segundo, o que é ligeiramente perceptível pelo valor mais elevado do L_{A10} na primeira situação. As causas podem passar pelas características muito reflectoras do espaço, da hora e duração das medições ou da quantidade de veículos que não deixa de ser reduzida para os dois casos.

Comparando agora com os valores medidos no período nocturno (35n), verifica-se que o L_{Aeq} sofre um aumento significativo do caso 35 para o 35n, em cerca de 7 dB. Se se considerar o valor medido em 2010 essa variação aumenta para aproximadamente 10 dB. Atendendo que se trata do período nocturno, estes valores revelam-se muito elevados. Note-se que o L_{A90} , no local 35n é também ele muito elevado com 66 dB, principalmente considerando que a medição ocorreu à 1h da manhã.

A figura 5.98 compara os valores obtidos em 2011 com a média aritmética dos valores apresentados no quadro 5.8 (pontos 1 a 9, excepto 6). Para ruas movimentadas e em período diurno verifica-se que o ruído médio aí medido é mesmo assim menor em cerca de 3 dB.

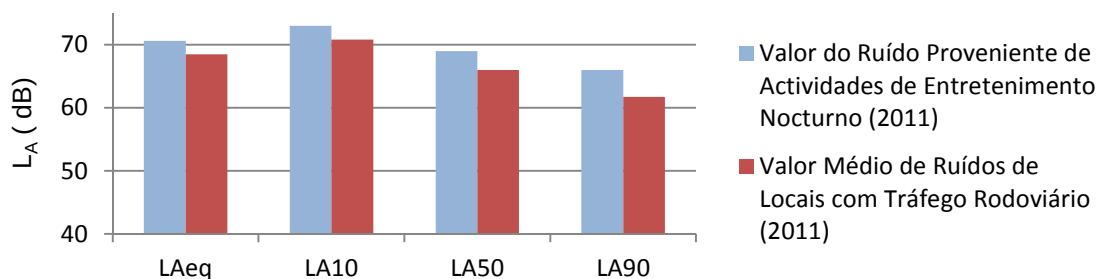


Fig. 5.98: Valores médios dos diferentes níveis sonoros medidos em locais com ruído com ruído de tráfego rodoviário do primeiro caso de estudo (pontos 1 a 9, excepto 6) e locais com ruído de entretenimento nocturno (2011).

O valor do $\Delta L_A (=L_{A10}-L_{A90})$ mostra que a variação é maior para o período diurno relativamente ao nocturno. Face aos valores obtidos e às características apresentadas, tal revela-se legítimo pois durante o dia existe uma maior variação do ruído, principalmente quando passam veículos motorizados, e durante a noite, uma vez que o L_{A90} é elevado, mesmo com a passagem de algum veículo as variações são ser necessariamente menores.

Conclui-se deste ponto que o $\Delta L (=L_{Aeq} \text{ (com bares)} - L_{Aeq} \text{ (sem bares)})$ é, para os valores recolhidos em 2011, da ordem dos 7 dB.

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu analisar o ruído no Porto e a sua evolução. Foi possível em particular verificar as propriedades dos parâmetros de medição e conhecer a forma como situações particulares de ruído podem influenciar os resultados. Ficou-se ainda com uma “imagem quantificada” dessas mesmas manifestações sonoras ao defrontar os valores face aos fenómenos sonoros que constituem o ambiente urbano.

Os diferentes casos de estudo permitiram analisar a forma como este fenómeno se manifesta e ocorre em diferentes locais da cidade, fazendo-se a apresentação das conclusões retiradas em cada situação:

a) Ruído na Cidade do Porto e sua Evolução

Em termos evolutivos, verificou-se que em 21 anos o ruído no centro da cidade do Porto reduziu em média cerca de 2 dB(A).

Este decréscimo não foi contínuo, tendo existido uma tendência inicial de crescimento do ruído desde 1990 até 1998 que algures na primeira década do século XXI se alterou. De facto o decréscimo foi mais acentuado nos últimos 13 anos com cerca de 3 dB(A). Apontou-se, de forma generalizada, como causa provável para este fenómeno o aparecimento do Metro, o abandono e envelhecimento do parque habitacional e a possível diminuição do tráfego rodoviário (associado ao aumento dos combustíveis e ao aparecimento de portagens nas scuts).

O mapa de ruído do Porto de 2005 mostra que a cidade apresenta muitos locais ruidosos. Os valores medidos dão a ideia que tal facto é possivelmente real para os locais analisados em 2011, pois obtiveram-se valores para o L_{Aeq} acima dos 65 dB para a generalidade dos locais.

Dos sítios estudados, o Campo dos Mártires da Pátria (ponto 6) é o mais sossegado, com L_{Aeq} abaixo dos 65 dB, e a Rua da Boavista (ponto 4) o mais ruidoso.

O ponto 6 demonstrou-se particularmente interessante pela ausência de tráfego em 2011 (transformou-se em zona pedestre), o que permitiu detectar reduções do nível sonoro contínuo equivalente de 15 dB(A) desde 1998 e cerca de 9 dB(A) desde 1990. Fica-se com uma ideia de quanto o ruído pode diminuir num mesmo local através da introdução duma alteração mais drástica nas fontes de ruído como o caso da eliminação da circulação de veículos motorizados (zonas pedestres). Em 2011, os restantes locais situados em meio urbano consolidado com tráfego rodoviário apresentaram valores do nível sonoro cerca de 9 dB superiores ao do ponto 6.

O tráfego rodoviário tem um impacto considerável, verificando-se a sua influência em locais como a Rua Rodrigues de Freitas (ponto 7) e a Rua D. João IV (ponto 8), onde o aparecimento da Ponte do Infante quebrou uma tendência que aparentemente se começava a instalar nesses locais.

A geometria e a arquitectura dos locais têm influências nos valores medidos possivelmente tão ou mais importantes que as fontes sonoras. Comparativamente a ruas estreitas (caso da Rua da Boavista, ponto 4, e da Rua Santa Catarina, ponto 2), os locais com jardins ou espaços abertos centrais mostram uma tendência de dissipação da energia sonora maior, mesmo que aparentemente o volume de tráfego seja maior (caso da Rotunda da Boavista, ponto 5), o que permite a obtenção de níveis sonoros equivalentes ou mais reduzidos.

De forma geral, a Praça do Marquês e a Praça da República (pontos 1 e 3 respectivamente) mostram a tendência a apresentar níveis sonoros aproximadamente iguais ao longo dos anos. Valores obtidos em outros locais como a Praça da Liberdade (ponto 9), não permitem generalizar esta conclusão para todas as praças, ficando contudo a ideia que poderão existir correspondências entre estes espaços.

A Praça da Liberdade sofreu um aumento do L_{Aeq} de 1990 para 2011 de 4 dB. Este crescimento parece estar associado às obras realizadas em 2006 com alteração do piso das ruas (de betuminoso passou a ser de cubos de pedra).

Os parâmetros estatísticos exibiram a particularidade de permitir caracterizar o ruído de forma a suscitar a origem deste. Esta particularidade demonstrou-se nos “ruídos de fundo” (L_{A90}), que em muitos lugares indicavam a tendência de desertificação que alguns sítios acusam, e também através dos “ruídos de ponta” (L_{A10}) que denunciam a influência do tráfego rodoviário e a sua evolução ao longo dos anos.

Em termos comparativos com outras cidades do sul da Europa, fica-se com a ideia que o Porto ao longo dos anos apresentou um comportamento em termos acústicos não muito diferente dessas cidades europeias.

b) Ruído na VCI

Nos últimos 13 anos o L_{Aeq} diminuiu junto à VCI cerca de 6 dB, passando dos 74 dB em 1998 para os 68 dB em 2011 (valores médios). As possíveis causas para estes resultados passam pela alteração do piso para drenante, a diminuição do limite de velocidade (para 90 km/h) e os radares para controlo da velocidade. Ficaram contudo algumas dúvidas e questões a desenvolver que são discutidas no ponto 6.2.

Acrescenta-se ainda que como a diferença entre o L_{A10} e o L_{A90} é menor para estes locais comparativamente à primeira situação, se demonstra que o ruído junto a uma GIT pode ser considerado mais incomodativo, não pelos valores medidos do L_{Aeq} mas pelo facto de estes durarem mais tempo de uma forma quase contínua, o que traduz um ruído de fundo (L_{A90}) mais elevado.

c) Ruído no Túnel de Ceuta

O túnel é uma solução que, tal como esperado teoricamente, aparenta ser uma boa solução para reduzir o ruído numa cidade. A sua presença gera reduções do ruído nos locais imediatamente após a entrada e antes da saída de aproximadamente 2 e 8 dB(A) respectivamente.

Os dados recolhidos carecem contudo de um estudo mais generalizado no tempo e de uma caracterização e quantificação das fontes de ruído para comparação.

d) Influência do Metro no Ruído

Neste caso de estudo verificou-se que de forma geral as estações do Metro apresentam vantagens em termos de ruído relativamente às estações de autocarros.

Para os diferentes tipos de estações de metro confirmou-se que as estações subterrâneas são mais silenciosas relativamente às estações à superfície com trânsito rodoviário na proximidade (L_{Aeq} cerca de 8 dB mais baixo). Já para as estações à superfície mas sem trânsito este crescimento, como esperado é menor (cerca de 3 dB) em comparação com as estações subterrâneas.

O Metro à superfície não influencia negativamente o ruído em ruas com trânsito rodoviário, tendo-se verificado, em comparação com outro local similar analisado, que os valores são mais reduzidos na primeira situação.

As paragens de autocarros podem provocar aumentos dos níveis sonoros de cerca de 4 dB na sua proximidade. O motivo prende-se naturalmente no ruído provocado pelos autocarros que pode originar subidas entre 2 e 3 dB(A) sempre que param numa paragem. O ΔL_A entre o L_{A10} e o L_{A90} nestes locais mostrou uma diferença significativa na paragem situada na Rua Alexandre Braga com aproximadamente 25 dB. As principais causas podem centrar-se nos ruídos elevados dos autocarros e no ruído de fundo reduzido. Comparativamente com os outros locais estudados nos restantes pontos verificou-se que as paragens de autocarros tendem a apresentar valores para esta diferença mais elevados.

Relativamente à influência do Metro no ruído existente nas paragens de autocarros, concluiu-se que existe uma possível redução entre 3 e 7 dB(A) derivado à existência do Metro na proximidade.

e) Ruídos de Origem Natural

Neste caso concluiu-se que o ruído com origem na água a cair demonstra-se mais elevado relativamente às restantes origens estudadas. Verificou-se mesmo que este é capaz de mascarar os restantes ruídos (caso do ruído das aves e das árvores no jardim do Palácio de Cristal). Pode-se observar ainda o fenómeno de os parâmetros analisados apresentarem valores iguais derivado ao facto de este tipo de ruído ser contínuo.

Dos restantes ruídos, o mar apresenta-se com o ruído de fundo mais elevado e o vento, por oposição ao que se esperava, não se demonstrou relevante (tal se justifica pelas condições de medição com velocidade do vento inferior a 5 m/s).

Encontraram-se dois locais com ruídos de origem natural (fonte de água no Jardim José Roquette e a praia na Rua do Coronel Raúl Peres), onde os valores do L_{Aeq} são aproximadamente iguais ou superiores a cinco pontos estudados no centro da cidade do Porto.

Em média os ruídos de origem natural apresentaram níveis sonoros inferiores em 8 dB(A) ao existente nas ruas inseridas em ambiente urbano consolidado com tráfego rodoviário. Tratando-se de ruídos de origem natural em que predomina a água (níveis sonoros mais altos), esta diferença pode reduzir para 3 dB.

No final, levantou-se a questão: até que ponto estes ruídos “naturais” podem ser considerados como ruído de “mascaramento” do ruído de tráfego, permitindo às pessoas alhearem-se da sua envolvente? De facto é possível que este fenómeno se verifique em muitos outros lugares não abordados neste trabalho.

f) Ruídos de Actividades de Entretenimento Nocturno

Os ruídos de ruas com actividades de entretenimento nocturno apresentaram valores do L_{Aeq} acima dos verificados durante o dia de aproximadamente 7 dB. Relativamente aos valores obtidos em 2010 para um fim-de-semana, esta diferença é de 10 dB. Mesmo comparando com o ruído médio dos pontos estudados no primeiro caso (centro do Porto), continua a existir uma diferença de 3 dB.

Concluiu-se portanto que o ruído nas artérias onde existem estas actividades pode ser bastante incomodativo. Atendendo que segundo o RGR de 2007 o L_n está limitado a 55 dB(A), pode-se prever que estes locais são susceptíveis de não cumprir o regulamento.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A realização deste trabalho pretendeu ser suficientemente esclarecedor ao desenvolver e estudar o ruído na cidade do Porto na actualidade e ao longo dos últimos 21 anos. O esforço desenvolvido foi frutífero em termos de resultados e de conclusões, contudo surgiram novas questões e puseram-se em evidência alguns pontos que necessitam de ser reanalisados possivelmente em trabalhos futuros com um novo ponto de vista.

Um dos pontos que teria interesse desenvolver seria através dum processo mais demorado e pormenorizado determinar os valores do L_{den} e L_n para alguns destes casos. Desta forma poderia-se comprovar a legalidade dos valores encontrados e também obter um registo mais pormenorizado dos fenómenos sonoros existentes no Porto. Este desenvolvimento seria útil para estudos posteriores, e seria também uma forma de enfrentar uma das questões encontradas que trata-se da fiabilidade das medições, nomeadamente quando se comparam valores de estudos anteriores obtidos com tempos mais curtos ou onde não se mediram alguns parâmetros.

Uma questão interessante que se levantou no primeiro caso estudado consiste na influência da arquitectura dos espaços na forma como o ruído se manifesta nos diferentes locais ao longo do tempo. Será que as diferenças encontradas se devem unicamente às mudanças encontradas no tráfego rodoviário ou a forma dos diferentes espaços tem de facto influência nos valores?

Esta questão levanta-se em especial face aos valores dos pontos 1 e 3 (Praça do Marquês de Pombal e Praça da República) que são praticamente constantes enquanto nos restantes pontos estes se alteraram ao longo dos anos. Excluindo os locais onde se verificaram diferenças notórias no trânsito (pontos 6, 7 e 8), admitindo que o tráfego se desenvolveu de igual forma para os diferentes locais porque será que se o L_{Aeq} se manteve aproximadamente igual em alguns locais e noutros não?

Levanta-se um aspecto a melhorar que se trata do controlo e medição do volume de tráfego, que poderia ser esclarecedor neste caso.

Também no caso da VCI se poderia propor esta hipótese embora se entenda que uma generalização a mais lugares junto à VCI ou o alargamento a um maior período de tempo poderia dissipar algumas dúvidas perante os resultados encontrados.

No que respeita ao caso desta infra-estrutura, fica em aberto a questão se mesmo com as melhorias encontradas o ruído continua a ser alto, como o demonstra o mapa de ruído de 2005, ou pelo contrário se estas alterações foram suficientes. Pode-se assim repetir em situações futuras as medições para o L_{den} e o L_n .

Face aos resultados obtidos que sugerem valores elevados dos níveis sonoros, surge um tema que poderia ser desenvolvido no futuro para encontrar e estudar medidas que possam minimizar os ruídos nesses locais, tentando não descaracterizar ou afectar as actividades que lá se desenrolam.

Uma ideia que se levanta com este tema consiste na comparação do ruído existente em diferentes cidades. Não se deveria tratar de uma questão de classificar as cidades mas de tentar encontrar caminhos e, de certa forma, incentivos para atingir um fim que se trata em diminuir a incomodidade e aumentar a qualidade sem restringir as restantes actividades normais das cidades. Tal necessitaria de mais dados e de uma parceria alargada entre diferentes entidades, contudo a realização deste estudo seria promissor pois permitiria tirar conclusões sobre outras soluções implementadas e comparar as evoluções encontradas. A execução de Mapas de Ruído por toda a Europa permitirá em breve comparar facilmente a situação em diferentes cidades.

Levanta-se também a questão do ruído existente noutras alturas do ano no Porto, durante dias normais ou até em dias festivos (por exemplo, S. João ou Queima das Fitas). Apesar de poder ser um ponto conflituoso, principalmente com as entidades que realizam as festividades, seria uma forma de conhecer e quantificar a influência dos diferentes fenómenos que se podem manifestar.

Uma questão já referida e que seria interessante desenvolver seria prolongar as medições para alturas do ano diferentes, nomeadamente para o caso do ruído de origem natural. De facto o ruído sentido nestes locais que tantas vezes se considera agradável consegue ter muitas vezes valores elevados para os níveis sonoros.

Também se levanta a hipótese de alargar o estudo de alguns casos a outros locais, nomeadamente: no caso das estações de Metro e autocarros; no caso do Túnel de Ceuta comparando com outras estruturas semelhantes como a existente na avenida Fernão de Magalhães na zona das Antas; e também o ruído de zonas com bares nocturnos, podendo alargar para outras zonas como a Ribeira, ou concelhos como Matosinhos, embora com a problemática da conflitualidade possível de surgir com os proprietários das instalações.

Seria também interessante a criação de uma base de dados ou de uma central de medições, onde através de uma página da internet (por exemplo sediada na Câmara Municipal do Porto) se poderia divulgar os resultados obtidos ou até observar os dados reais medidos em cada momento através de uma monitorização contínua em locais chave.

Após a apresentação de todos os dados e de uma breve reflexão sobre os pontos a melhorar ou a desenvolver, chega-se no final a um panorama interessante em que existe uma panóplia de novas situações a investigar e a aprofundar para caracterizar e conhecer o ambiente que nos rodeia e que apesar de audível e por vezes prejudicial nos passa muitas das vezes completamente despercebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Berglund, B., Lindvall, T. e Schwela, D. *Guidelines for Community noise*. Organização Mundial de Saúde, Londres, 1999.
- [2] Sousa, H. e Timóteo, F. *Porto – Cidade feita de ruído. A Surdez Inevitável*. Jornal de Notícias (revista), 6/5/1990, págs. 5-8.
- [3] Kinsler, L. e Frey, A., Coppens, A., Sanders, J. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley and Sons, New York, 1982.
- [4] Ferreira, N. e Guerreiro, H. *O Ruído e a Indústria Extractiva*. Visa Consultores, Oeiras, 2011.
- [5] Instituto do Ambiente. *O Ruído e a Cidade*. Instituto do Ambiente, Lisboa, 2004.
- [6] Imperialum (Sociedade Comercial de Revestimentos e Impermeabilizações, S.A.). *Manual de Acústica*. Montijo, 2006.
- [7] Brüel & Kjær. *Environmental Noise*. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, 2000.
- [8] Carvalho, A. P. O. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Ed. 7.4, FEUP, Porto, 2010.
- [9] Carvalho, A. P. O. e Rocha, C. *Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*. Agência Portuguesa do Ambiente, 2008.
- [10] Valadas, B., Guedes, M. e Coelho, J. *Ruído Ambiente em Portugal*. Direcção Geral do Ambiente, Amadora, 1996.
- [11] Comissão Europeia. *Future Noise Policy - Green Paper*. Comissão Europeia, Bruxelas, 1996.
- [12] *Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de Janeiro. Regulamento Geral sobre o Ruído* - Diário da República – I Série- A Nº 12. 2007.
- [13] NP 1730-1. *Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos*. Instituto Português da Qualidade. 1996.
- [14] NP ISO 1996 -1. *Acústica – Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente – Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação*. Instituto Português da Qualidade. 2007.
- [15] NP ISO 1996 -2. *Acústica – Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente – Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente*. Instituto Português da Qualidade. 2007.
- [16] *Decreto-Lei nº 251/1987 de 24 de Junho. Regulamento Geral sobre o Ruído* - Diário da República – 1987.
- [17] *Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro. Regulamento Geral sobre o Ruído* - Diário da República – I Série- A Nº 263. 2000.
- [18] *Decreto-Lei nº 259/2002 de 23 de Novembro. Regulamento Geral sobre o Ruído* - Diário da República – I Série- A Nº 271. 2002.
- [19] Fotos de Edifícios e Monumentos do Porto e da A44 em Mafamude: <http://pt.wikipedia.org>. Acedido em 10/3/2011.
- [20] *Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* - Diário da República – I Série- Nº 110. 2008.

- [21] Isolamento acústico em janelas: <http://www.caixiave.pt/>. Acedido em 4/4/2011.
- [22] Instituto do Ambiente. *Procedimentos Específicos de Medição do Ruído Ambiente*. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, 2003.
- [23] Antunes, S. Equipamento e calibrações. In *Curso sobre Aspectos Regulamentares e Normativos do Domínio do Ruído e das Vibrações*, Módulo VI, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2000.
- [24] Brüel & Kjær. Environmental Solutions – Product Catalogue. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, 2011.
- [25] Brüel & Kjær. *Technical Documentation – Precision Integration Sound Level Meter Type 2236* [User Manual]. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, 1994.
- [26] Instituto Nacional Estatística. *Anuário Estatístico da Região Norte – 2009*. Lisboa, 2010.
- [27] Instituto Nacional de Estatística. *O Território – Região Norte – 2009*. Lisboa, 2011.
- [28] Câmara Municipal do Porto [História da Cidade]: <http://www.cm-porto.pt/>. Acedido em 9/3/2011.
- [29] Câmara Municipal do Porto [O Porto em factos e números]: <http://www.cm-porto.pt/gen.pl?p=stories&op=view&fokey=cmp.stories/384>. Acedido em 9/3/2011.
- [30] Mapa do Município do Porto: <http://www.amp.pt/gca/index.php?id=110>. Acedido em 9/3/2011.
- [31] Ferreira, C. e Gomes, M. *Dinâmicas demográficas e sociais: o Porto no contexto Europeu* [Boletim informativo]. Câmara Municipal do Porto, Porto, 2008.
- [32] Gabinete de Estudos e Planeamento. *Notas sobre a Evolução Demográfica do Concelho do Porto [1991-2005]*. Câmara Municipal do Porto, Porto, 2007.
- [33] Instituto Nacional de Estatística. *Censos 2011 – Resultados Preliminares*. Lisboa, 2011.
- [34] Câmara Municipal do Porto e Laboratório de Acústica da Universidade do Porto. [Mapas do Ruído]. 2002.
- [35] Oliveira, C., Neves, J. e Gomes, M. *Mobilidade na Cidade do Porto. Análise das deslocações em transporte Individual*. Câmara Municipal do Porto [Direcção Municipal da Via Pública], Porto, 2007.
- [36] Mapa da cidade do Porto: <http://maps.google.pt>. Acedido em 20/4/2011.
- [37] Rosário, A. C. *Barulho já "ensurdece" na Rotunda da Boavista*. Jornal de Notícias, 10/06/1998, pág. 6-7.
- [38] Via de Cintura Interna: <http://pt.wikipedia.org>. Acedido em 18/4/2011.
- [39] Instituto de Meteorologia: <http://www.meteo.pt>. Acedido em 15/4/2011.
- [40] Regulamento do Plano Director Municipal do Porto de 3 de Fevereiro de 2006 - Diário da República – I Série B- N° 25. 2006.
- [41] Carta das condicionantes do Porto: <http://sigweb.cm-porto.pt/mipweb/>. Acedido em 20/4/2011.
- [42] Informações sobre as ruas e jardins do Porto, sobre Ponte do Infante, o Túnel de Ceuta e o Metro do Porto: <http://pt.wikipedia.org>. Acedido em 20/4/2011.

- [43] Imagens da Avenida dos Aliados antes e depois das intervenções de 2006: <http://vantagemcomparativa.blogspot.com>. Acedido em 9/5/2011.
- [44] Valor do L_{Aeq} para diferentes cidades do sul da Europa: www.sea-acustica.es. Acedido em 3/5/2011.
- [45] Departamento de Planeamento (DPL) & Gabinete de Controlo de Gestão e Sistemas de Informação (GCGSI). *Relatório de Tráfego na Rede Nacional de Auto-estradas 2010*. Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias IP, Lisboa, 2011.
- [46] Manuel Vitorino. *Nó do Regado abre hoje*. Jornal de Notícias (2006): <http://www.jn.pt>. Acedido em 14/7/2011.
- [47] Mapa da rede do metro do Porto: <http://www.metrodoporto.pt>. Acedido em 27/4/2011.
- [48] Relatório e contas do Metro do Porto (2010): <http://www.metrodoporto.pt>. Acedido em 17/6/2011.
- [49] Relatório e contas da STCP (2010): <http://www.stcp.pt>. Acedido em 13/7/2011.
- [50] Carta das condicionantes de Vila Nova de Gaia: <http://www.gaiurb.pt>. Acedido em 26/4/2011.
- [51] Instituto Hidrográfico: <http://www.hidrografico.pt>. Acedido em 4/4/2011.