

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2020/2021

EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA CIDADE DO PORTO EM 30 ANOS

JOEL ALBERTO GOMES LEITÃO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Cidália Maria de Sousa Botelho

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: António Pedro Oliveira de Carvalho

(Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

FEVEREIRO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ catc@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 do Ambiente - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Em memória do meu pai,

À minha mãe e irmã.

We can now destroy or we can cherish, the choice is ours.

David Attenborough

AGRADECIMENTOS

Gostava de agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram, apoiaram e estiveram ao meu lado durante toda esta etapa pois sem elas a realização deste trabalho não seria possível.

Em primeiro lugar, um agradecimento especial ao Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, meu orientador, por toda a sua disponibilidade, orientação, apoio e exigência, tanto na unidade curricular de Acústica Ambiental como no decorrer desta dissertação, tendo-me motivado ainda mais na realização deste trabalho.

Um agradecimento ao Engenheiro António Eduardo Costa pelo auxílio no procedimento a ter na realização das medições, pela sua simpatia e disponibilidade.

Um grande obrigado à minha família, principalmente à minha mãe e à minha irmã, que me educaram durante toda a minha vida, apoiaram-me sempre nas minhas escolhas e sempre foram a minha força para continuar os meus estudos no ensino superior.

Quero agradecer à Carolina, pelo carinho, companhia, apoio incondicional e por me contagiar constantemente com a sua energia.

E por fim, mas não menos importante, quero agradecer a todos os meus amigos, que me acompanharam ao longo de todo o meu percurso académico, sendo uma fonte de alegria, descontração e apoio.

RESUMO

Nos últimos anos, as cidades sofreram um desenvolvimento urbano exponencial que, por sua vez, levou a que estas sejam caracterizadas como lugares alvo de grande interesse e atração social. Embora possam ser apontados diversos pontos positivos, esta evolução teve as suas consequências, sendo uma delas, uma acústica ambiental não planeada. O ruído é um grave problema que, cada vez mais, tem vindo a ser discutido pela comunidade científica de forma a analisar o seu impacto e, consequentemente, como o minimizar. A cidade do Porto pode ser tida como exemplo do que foi previamente constatado, pois nas últimas décadas foi alvo de grande urbanização, nomeadamente no início do século vinte e um, e aumento de densidade populacional. O tráfego rodoviário na cidade é considerado como uma das maiores fontes do ruído citadino, apesar de não ser o único.

Neste sentido, o objetivo desta dissertação tem como base a realização de um estudo de análise dos valores de ruído que são detetados na cidade do Porto em 2020 e uma comparação destes com os valores obtidos ao longo de 30 anos com base num estudo idêntico publicado no Jornal de Notícias de Domingo a 6 de maio de 1990. Com recurso a outros dados de ruído cedidos pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi possível ver o panorama evolutivo do ruído na cidade.

Outro objetivo deste trabalho foi a análise do efeito que o confinamento obrigatório implementado por causa do COVID-19 teve no ruído da cidade. Para o efeito, foram realizadas novas medições durante um fim de semana de recolher obrigatório, medindo assim os valores de ruído durante o confinamento. Posteriormente foi realizada uma comparação com os valores em dia de “não confinamento”.

Os dados do ruído na cidade foram obtidos através de medições durante o mês de novembro de 2020, em nove locais diferentes. Os lugares selecionados para a recolha foram definidos de acordo com os que tinham sido utilizados em 1990 de forma a haver uma análise e comparação mais fidedigna.

Na análise realizada verificou-se que, no geral, o ruído tem diminuído ao longo das três décadas, observando-se uma redução do nível sonoro em cerca de 2,3 dB(A), no entanto esta evolução não foi contínua. Foram encontrados níveis sonoros bastante diferentes nos diversos pontos, concluindo-se que o ruído varia de ponto para ponto, principalmente devido a fatores como a morfologia das edificações e estradas e como o fluxo de tráfego rodoviário. Numa comparação entre os valores de níveis sonoros em dia de confinamento e em dia “normal”, analisou-se que houve uma redução de ruído nos dias de confinamento de cerca de 6,5 dB(A).

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Porto, Ruído, Covid-19, Nível sonoro.

ABSTRACT

In recent years, cities have undergone an exponential urban development that, in turn, has led them to be characterized as places of great interest and social attraction. Although several positive points can be pointed out, this evolution had its consequences, one of which was a unplanned environmental acoustics. Noise is a serious problem that has been discussed by the scientific community in order to analyze its impact and, consequently, how to minimize it. The city of Porto that can be taken as an example of what was previously found, as in recent decades it has been the target of great urbanization. Road traffic in cities is considered to be one of the biggest sources of city noise, although it is not the only one

In this sense, the objective of this dissertation is the analysis of the noise values that are detected in the city of Porto in 2020 and a comparison of these with the values obtained over 30 years based on an identical study published on, 1990. Using other noise data provided by the Acoustics Laboratory of the Faculty of Engineering of the University of Porto, it was possible to see the evolutionary panorama of noise in the city.

Another objective of this work was to analyze the effect that the mandatory confinement implemented because of COVID-19 had on city noise. For this purpose, new measurements were made during a curfew weekend, thus measuring the noise values during confinement. Subsequently, a comparison was made with the values in days of no confinement.

In order to obtain data on noise in the city, measurements were made during the month of November 2020, in nine different locations. The places selected for collection were defined according to those used in 1990 in order to have a reliable analysis and comparison.

In the analyse carried out it was found that in general the noise has decreased over the three decades, with a reduction in sound level of about 2.3 dB(A), however this evolution was not continuous. Very different sound levels were found in the different points, concluding that the noise varies from point to point, mainly due to factors such as the morphology of buildings and roads and the flow of road traffic. In a comparison between the sound level values on a day of confinement and on a “normal” day, it was analyzed that there was a noise reduction in the days of confinement of about 6.5 dB (A).

KEYWORDS: Acoustics, Porto, Noise, Covid-19, Sound Level.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xv
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xvii

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3

2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. CONCEITOS BÁSICOS	5
2.1.1. SOM E RUÍDO	5
2.1.2. PRESSÃO	6
2.1.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA	7
2.1.4. NÍVEIS SONOROS	7
2.1.5. FREQUÊNCIA	8
2.1.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO.....	9
2.1.7. ANÁLISE NO TEMPO	10
2.2. EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA	11
2.3. ACÚSTICA DE EXTERIORES	12
2.3.1. PROPAGAÇÃO SONORA NO EXTERIOR E ATENUAÇÕES.....	12
2.3.1.1. ATENUAÇÃO DEVIDA A DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA	12
2.3.1.2. ATENUAÇÃO DEVIDA AO AR	13
2.3.1.3. ATENUAÇÃO DEVIDA À ABSORÇÃO PELO SOLO	14
2.3.1.4. ATENUAÇÃO DEVIDA AOS GRADIENTES DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO VENTO	14
2.3.1.5. ATENUAÇÃO DEVIDA À DENSE VEGETAÇÃO.....	16
2.3.1.6. ATENUAÇÃO DEVIDA A EDIFÍCIOS.....	16
2.3.1.7. ATENUAÇÃO DEVIDA A NEVOEIRO E DA CHUVA.....	16

2.3.2. RUÍDO DE TRÁFEGO	16
2.3.2.1. RUÍDO RODOVIÁRIO	16
2.3.2.3. RUÍDO FERROVIÁRIO	18
2.3.3. BARREIRAS ACÚSTICAS	19

3. ESTADO DA ARTE

21

3.1. LEGISLAÇÃO EUROPEIA

21

3.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL

21

3.3. ESTUDOS DE RUÍDO AMBIENTAL - CIDADES DO MUNDO

23

3.3.1. GOTEMBURGO, SUÉCIA

23

3.3.2. CÁCERES, ESPANHA

24

3.3.2. MESSINA, ITÁLIA

25

3.3.2. KOPER, ESLOVÉNIA

26

3.3.2. ESTOCOLMO, SUÉCIA

27

3.4. CIDADE DO PORTO – MAPA DE RUÍDO

29

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

30

4. METODOLOGIA

33

4.1. NORMAS E PROCEDIMENTOS

33

4.1.1. NP ISO 1996

33

4.1.2. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO

33

4.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE

35

4.3. EQUIPAMENTOS

36

4.3.1. SONÓMETRO

36

4.3.2. TRANSDUTOR

37

4.3.3. CALIBRADOR

38

4.3.4. DETETOR

38

4.4. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LOCAIS DE ESTUDO ..

39

4.4.1. EQUIPAMENTOS

39

4.4.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE

40

4.4.3. PROCEDIMENTO

40

5. RESULTADOS	41
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	41
5.1.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	41
5.1.1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	41
5.1.1.2. PONTO 1 – PRAÇA MARQUÊS DE POMBAL	43
5.1.1.3. PONTO 2 – CRUZAMENTO DA RUA SANTA CATARINA COM A RUA DE GONÇALO CRISTÓVÃO	44
5.1.1.4. PONTO 3 – PRAÇA DA RÉPUBLICA	45
5.1.1.5. PONTO 4 – CRUZAMENTO DA RUA DA BOAVISTA COM A RUA DE ANÍBAL CUNHA	46
5.1.1.6. PONTO 5 – ROTUNDA DA BOAVISTA	47
5.1.1.7. PONTO 6 – CAMPO MÁRTIRES DA PÁTRIA	48
5.1.1.8. PONTO 7 E 8 – JARDIM DE S. LÁZARO	50
5.1.1.9. PONTO 9 – PRAÇA DA LIBERDADE	51
5.2. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA CIDADE DO PORTO EM 30 ANOS	52
5.2.1. RESULTADOS OBTIDOS EM 2020	52
5.2.2. COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE ANOS ANTERIORES (1990 / 1998 / 2011)	55
5.2.3. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA CIDADE DO PORTO ENTRE 1990 E 2020	59
5.3 O RUÍDO NO “SILÊNCIO” DA CIDADE DO PORTO	65
5.3.1. INTRODUÇÃO	65
5.3.2. RESULTADOS	65
5.3.3. O RUÍDO EM 2020: DIA NORMAL VS DIA DE CONFINAMENTO	69
6. CONCLUSÕES	71
6.1. CONCLUSÃO	71
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação do som através de variações de pressão no ar [13].	5
Figura 2.2 - Variação de pressão produzida por uma fonte sonora (som ou ruído) [14].	6
Figura 2.3 - Gamas de Frequência do ser humano [12].	8
Figura 2.4 - Gama de frequências em bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava de um ruído [5].	9
Figura 2.5 - Curvas de ponderação ou filtros A, B, C e D [12].	10
Figura 2.6 - Ilustração do Ouvido Humano. Adaptado de [16].	11
Figura 2.7 - Variação em frequência da gama auditiva [14].	12
Figura 2.8 - Dois efeitos diferentes da variação da temperatura com a altura na propagação da onda sonora. a) Gradiente de temperatura negativo. b) Gradiente de temperatura positivo [5].	15
Figura 2.9 - Efeito da variação da velocidade do vento com a altura na onda na propagação da onda sonora [5].	15
Figura 2.10 - Diferença do espectro de ruído produzido por tráfego de veículos pesados e ligeiros [12].	17
Figura 2.11 - Ruído gerado pelo contacto pneus-estrada em condições climatéricas diferentes [12].	18
Figura 2.12 - Ruído produzido por diferentes tipos de comboios [12].	18
Figura 2.13 - Propagação do som na presença de uma barreira acústica [22].	20
Figura 2.14 - Difração da onda sonora por uma barreira acústica [23].	20
Figura 3.1 - Média de L_{Aeq} para cada zona acústica em Messina. Cinza claro demonstra o valor que está acima do limite estabelecido pela legislação Italiana [33].	26
Figura 3.2 - Níveis sonoros médios em dia de semana calculados com os dados obtidos entre a semana 16 de 2019 e a semana 9 de 2020 de para período de referência pré-pandemia e com os dados obtidos entre a semana 13 a 16 de 2020 para o período de restrição devido à pandemia em Estocolmo [35].	28
Figura 3.3 - Níveis sonoros médios em dia de fim de semana calculados com os dados obtidos entre a semana 16 de 2019 e a semana 9 de 2020 de para período de referência pré-pandemia e com os dados obtidos entre a semana 13 a 16 de 2020 para o período de restrição devido à pandemia em Estocolmo [35].	28
Figura 3.4 - Mapa de Ruído da Cidade do Porto utilizando L_{den} como indicador de ruído [37].	29
Figura 3.5 - Mapa de ruído da Cidade do Porto utilizando L_n como indicador de ruído [37].	30
Figura 3.6 - Capa da revista Jornal de Notícias de Domingo publicada a 6 de Maio de 1990 [11].	31
Figura 4.1 - Esquema da cadeia de medição de um sonómetro não integrador [12].	36
Figura 4.2 - Esquema da cadeia de medição de um sonómetro integrador [12].	37
Figura 4.3 - Exemplo de calibrador da marca Brüel & Kjær [46].	38
Figura 4.4 - Relação do valor eficaz (RMS) com o valor médio e o valor de pico [47].	38
Figura 4.5 - Direccionalidade do microfone do sonómetro Brüel & Kjær modelo 2236 [48].	39

Figura 5.1 - Localização dos nove locais de amostragem no mapa da cidade do Porto [adaptado 49].	42
Figura 5.2 - Localização do ponto de medição 1 [adaptado 49].	43
Figura 5.3 - Medição no ponto 1 com vista para a entrada da praça [foto do autor].	44
Figura 5.4 - Medição no ponto 1 com vista para a rua da constituição [foto do autor].	44
Figura 5.5 - Localização do ponto de medição 2 [adaptado 49].	44
Figura 5.6 - Medição no ponto 2 com vista para a Rua Santa Catarina [foto do autor].	45
Figura 5.7 - Medição no ponto 3 com vista para a Rua Gonçalo Cristóvão [foto do autor].	45
Figura 5.8 - Localização do ponto de medição 3 [adaptado 49].	46
Figura 5.9 - Medição no ponto 3 com vista para a entrada da praça [foto do autor].	46
Figura 5.10 - Medição no ponto 3 com vista para a Rua Alvares Cabral [foto do autor].	46
Figura 5.11 - Localização do ponto de medição 4 [adaptado 49].	47
Figura 5.12 - Medição no ponto 4 com vista para a Rua da Boavista [foto do autor].	47
Figura 5.13 - Medição no ponto 3 na esquina da Rua da Boavista com a Rua Aníbal Cunha [foto do autor].	47
Figura 5.14 - Localização do ponto de medição 5 [adaptado 49].	48
Figura 5.15 - Medição no ponto 5 com vista para a Praça [foto do autor].	48
Figura 5.16 - Medição no ponto 5 com vista para a Rua da Boavista [foto do autor].	48
Figura 5.17 - Localização do ponto de medição 6 [adaptado 49].	49
Figura 5.18 - Medição no ponto 6 com vista para a Rua de São Filipe de Nery [foto do autor].	49
Figura 5.19 - Medição no ponto 6 com vista para o Jardim de João Chagas [foto do autor].	49
Figura 5.20 - Localização dos pontos de medição 7 e 8 [adaptado 49].	50
Figura 5.21 - Medição no ponto 7 com vista para a entrada sudoeste do jardim [foto do autor].	51
Figura 5.22 - Medição no ponto 8 com vista para a entrada nordeste do jardim [foto do autor].	51
Figura 5.23 - Localização do ponto de medição 9 [adaptado 49].	51
Figura 5.24 - Medição no ponto 9 com vista para a Câmara Municipal do Porto [foto do autor].	52
Figura 5.25 - Medição no ponto 9 com vista para a Rua dos Clérigos [foto do autor].	52
Figura 5.26 - Valores das medições de ruído nos nove pontos da cidade do Porto em 2020	53
Figura 5.27 - Valores de L_{A10} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.	56
Figura 5.28 - Valores de L_{A50} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.	57
Figura 5.29 - Valores de L_{A90} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.	58
Figura 5.30 - Valores de L_{Aeq} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.	59
Figura 5.31 - Valores de L_{Aeq} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.	59

Figura 5.32 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A10}) previsível para 2030.	60
Figura 5.33 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A50}) previsível para 2030.	61
Figura 5.34 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A90}) previsível para 2030.	61
Figura 5.35 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A90}) previsível para 2030.	62
Figura 5.36 - Variação dos níveis sonoros em 30 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1990}$) para os nove locais de medição.	63
Figura 5.37 - Variação dos níveis sonoros em 22 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1998}$) para os nove locais de medição.	64
Figura 5.38 - Variação dos níveis sonoros em 9 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A2011}$) para os nove locais de medição.	64
Figura 5.39 - Valores dos níveis sonoros obtidos em 21/11/2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h.	66
Figura 5.40 - Valores dos níveis sonoros obtidos em 21/11/2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h (*Pontos com valores da segunda medição realizado a 22 de novembro 2020).	68
Figura 5.41 - Comparação dos valores de ruído medidos em dia normal e em dia de confinamento.	69
Figura 5.42 - Diferença de valores de níveis sonoros equivalentes entre dia “normal” e dia de confinamento ($\Delta L_{Aeq \text{ silêncio}} = L_{Aeq \text{ normal}} - L_{Aeq \text{ confinamento}}$).	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Valores numéricos das ponderações da curva A para as bandas de frequência de 1/1 oitava [5].	10
Quadro 2.2 - Coeficiente de atenuação por absorção atmosférica para humidades relativas altas. ...	14
Quadro 2.3 - Atenuação devida a vegetação densa em função da distância percorrida pelo som [5].	16
Quadro 3.1 - Critérios de Exposição para as Zonas Mistas e Sensíveis e as diferentes envolventes [5].	22
Quadro 3.2 - Limites de exposição ao ruído estabelecidos pela Legislação Italiana [33].	25
Quadro 3.3 - Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto a 20 de Março de 1990, entre as 15:00 e as 17:30h [11].	32
Quadro 4.1 - Constantes de tempo num sonómetro e a sua aplicabilidade [44].	39
Quadro 5.1 – Locais na cidade do Porto em que foram realizadas medições de ruído e as suas correspondentes coordenadas Geográficas [49].	41
Quadro 5.2 - Condições meteorológicas registadas pelo Instituto Meteorológico da Serra do Pilar nos dias de medição [50].	43
Quadro 5.3 - Níveis de ruído obtidos em 2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto ($\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$).	53
Quadro 5.4 - Valores do aumento do nível sonoro (ΔL_A) em dB(A) em cada ponto face ao L_{AN} do ponto 6, representativos da influência do ruído proveniente do tráfego automóvel em 2020.	54
Quadro 5.5 - Valores obtidos para L_{A10} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.	55
Quadro 5.6 - Valores obtidos para L_{A50} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.	56
Quadro 5.7 - Valores obtidos para L_{A90} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.	57
Quadro 5.8 - Valores obtidos para L_{Aeq} para os nove lugares de medição nos anos 1998, 2011 e 2020 e a sua evolução. Valores de 1990 estimados através de um modelo geral linear.	58
Quadro 5.9 - Valores dos níveis sonoros previsíveis para 2030 e a diferença com os valores de 2020.	62
Quadro 5.10 - Variação dos níveis sonoros em 30 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1990}$) para os nove locais de medição.	63
Quadro 5.11 - Variação dos níveis sonoros em 22 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1998}$) para os nove locais de medição.	63
Quadro 5.12 - Variação dos níveis sonoros em 9 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A2011}$) para os nove locais de medição.	64
Quadro 5.13 - Valores dos níveis sonoros obtidos em 2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h do dia 21 de novembro de 2020.	66

Quadro 5.14 - Diferença de valores de níveis sonoros equivalentes entre dia “normal” e dia de confinamento ($\Delta L_{Ae \text{ silêncio}} = L_{Aeq \text{ normal}} - L_{Aeq \text{ confinamento}}$). 67

Quadro 5.15 - Valores de ruído obtidos na repetição das medições dos pontos 6 e 9 em dia de confinamento (22 de novembro de 2020)..... 67

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

°C – Grau celsius

A' – Atenuação teórica da barreira

AEA – Agência Europeia do Ambiente

c – celeridade [m/s]

d – Distância [m]

dB – decibel

DL – Decreto-Lei

DRA – Diretiva de Ruído Ambiente

F – constante de tempo *Fast*

F – Número de Fresnel

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GIT – Grande Infraestrutura de Transporte

Hz – hertz

i – constante de tempo *impulsive*

I – intensidade sonora [W/m²]

I₀ – Valor de referência de intensidade sonora [10⁻¹² W/m²]

IPQ – Instituto Português de Qualidade

ISO – International Organization for Standardization

JN – Jornal de Notícias

K – penalizações (tonal ou Impulsiva) para a avaliação do critério de incomodidade

L_A – nível sonoro, 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_{Aeq} – nível sonoro contínuo equivalente, 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(A)]

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 noturno [dB(A)]

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]

NP – Norma Portuguesa

OMS – Organização Mundial de Saúde

p – pressão sonora [Pa]

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

Pa – pascal

PDM – Plano Diretor Municipal

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

r – raio [m]

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RMS – root mean square (pressão eficaz)

S – constante de tempo *Slow*

T – temperatura em graus kelvin [K]

t – tempo [s]

UE – União Europeia

w – potência sonora [W]

W – watt

w_0 – Valor de referência de potência sonora [10^{-12} w]

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

λ – Comprimento de onda [m]

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

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

A história do Homem ao longo dos anos tomou diversos caminhos com o objetivo de alcançar o bem-estar e evolução em comunidade. Com esta perspetiva, atualmente uma grande parte da sociedade vive em cidades onde, na maioria dos casos, existe uma grande densidade demográfica, isto é, existe uma grande concentração populacional numa determinada área. As cidades são consideradas como sistemas complexos onde existe uma interação de vários fatores. A relação destes aspetos, com o crescimento económico, o acréscimo populacional e uma rápida evolução e transformação nos últimos anos, por vezes apresenta dificuldades para um bom planeamento urbano [1]. Os autores Gunaydin *et al.* [2] definem requisitos para haver progressão de uma cidade, usando variados fatores urbanos, salientando que o elemento fundamental é a existência de uma rede de estradas. A rede rodoviária é considerada como uma importante base de sustentação de diversas atividades urbanas sociais e económicas. Esta permite que haja uma maior acessibilidade a pessoas e bens independentemente da distância que tenha de ser percorrida [3].

Este desenvolvimento urbano tem ocorrido a um ritmo acelerado nas últimas décadas, provocando efeitos negativos no meio ambiente, sendo um deles o ruído ambiental e o efeito deste na saúde humana. Entenda-se por ruído uma alteração da pressão do ar que é desagradável ou sem significado para o ouvinte. O ruído ambiental sentido nas cidades é um problema social de grande importância. Uma má acústica ambiental no desenvolvimento urbano é um dos principais geradores de desconforto para a população e para o ambiente, podendo causar problemas de saúde, tanto físicos como psicológicos [4][5][6].

A Agência Europeia do Ambiente (AEA) e a Organização Mundial de Saúde (OMS) [7], que utilizam o termo “poluição sonora” para o ruído provocado que prejudique o ser vivo e o meio ambiente em que vivemos, consideram a mesma como uma grande preocupação na saúde europeia. A OMS classifica o tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo como a segunda causa mais importante no mau estar da população na Europa, devido ao ruído produzido pela sua circulação.

Com base num estudo realizado pelas Nações Unidas em 2018 [8], 55% da população mundial vive em áreas urbanas e existe uma expectativa de que até 2050 essa percentagem chegue a 68% o que corresponde a um acréscimo de 2,5 mil milhões de pessoas a viver nas cidades. Este crescimento contínuo da pressão demográfica nos centros urbanos leva assim a um aumento de estradas, transportes, indústrias, serviços, entre outros, que consequentemente aumentam os níveis de ruído na cidade. De forma a combater este ponto negativo presente nas cidades europeias, a comissão europeia aprovou uma diretiva, a Diretiva do Ruído Ambiente (DRA) [9], com o objetivo de haver uma maior avaliação e gestão do ruído ambiental a nível europeu. A diretiva define um plano de atuação na gestão do ruído,

levando os estados-membros a realizarem mapas de ruído e planos de ação de ruído. Por outras palavras, a DRA impõe a identificação da exposição às fontes de ruído através de estudos, e organizar e mapear as mesmas por zonas, de forma a haver uma melhor organização da informação permitindo assim uma decisão mais adequada das medidas a tomar para uma minimização de ruído nas fontes mais problemáticas, obtendo assim melhor conforto e qualidade de vida.

A cidade do Porto é das cidades mais importantes de Portugal. Nas últimas décadas a população que reside na cidade tem diminuído, no entanto é uma cidade que tem evoluído imenso e tem contado com um grande crescimento económico, o qual nos últimos três anos provocou uma inversão desse decréscimo populacional. Esta prosperidade é fruto da cidade ser um ponto turístico de grande importância, tendo sido eleita diversas vezes como melhor destino turístico da Europa e dos melhores do mundo. Devido à importância económica da atividade turística, a cidade tem investido de forma a alcançar uma maior dinamização contando com variadas ofertas culturais e de lazer. Este crescimento, apesar de reduzido, faz com que haja uma grande afluência na cidade, não só de residentes, mas também trabalhadores e turistas, potenciando assim um aumento do tráfego e movimento na cidade e consequentemente do ruído e da exposição ao mesmo [10].

“Porto é a Cidade de Todos os Ruídos” é o título de um artigo publicado pelo Jornal de Notícias em 1990, onde é referenciado a existência do problema da exposição ao ruído na cidade. É afirmado na notícia que a cidade do Porto era a cidade europeia mais ruidosa em 1990. Este artigo teve como base um estudo dos níveis de pressão sonora em diversos pontos da cidade realizado pelo Laboratório de Acústica da FEUP [11].

O objetivo principal desta dissertação, devido ao historial que a cidade do Porto apresenta na área do ruído, passa por fazer uma análise à evolução do ruído na cidade nas últimas três décadas. Desde que esse artigo foi publicado, o mesmo foi impulsionador de variados estudos. Os locais que foram selecionados para medir o nível de ruído presente na cidade em 1990 foram posteriormente utilizados para ensaios realizados em 1998 e em 2011 pelo mesmo laboratório no âmbito de manter um registo do ruído em cada década. Estes três estudos serão usados como método de comparação com os valores obtidos no ano presente (2020) neste trabalho, com o intuito de avaliar a sua evolução pelas décadas.

Outro dos objetivos deste trabalho é fazer uma avaliação à diferença dos valores de nível sonoro em dia de confinamento com recolher obrigatório e em dia “normal” sem confinamento e sem recolher obrigatório. O ano de 2020 foi marcado pelo surgimento de uma pandemia mundial provocada pela propagação do vírus SARS-CoV-2, conhecido também como a doença do COVID-19 ou coronavírus. Os efeitos desta dispersão viral levaram vários países ao redor do mundo a implementar diferentes medidas para tentar minimizar a propagação do vírus. Em Portugal, foram variadas as medidas implementadas ao longo do ano. Em novembro, o país português estava em estado de emergência e no fim de semana de 21 e 22 desse mês, foram implementadas diferentes restrições como a proibição de viajar entre concelhos e o recolher obrigatório domiciliário entre as 13h da tarde às 6h da manhã de cada dia. A implementação destas regras de confinamento provocou uma diminuição drástica da atividade na cidade e por consequência uma alteração no ruído, deixando pontos da cidade entregues a um estado sonoro perto do silêncio. Realiza-se assim, uma comparação entre os níveis sonoros de um dia “normal” (não confinamento) e de um dia de confinamento.

Estudos deste carácter apresentam uma grande importância, pois uma vez que a cidade está em constante evolução e transformação, o registo acústico dos diversos locais modificam-se com a mesma, podendo assim alterar o bem-estar de cada cidadão para melhor ou pior.

Como objetivo adicional, esta dissertação tem como finalidade a aplicação dos conhecimentos obtidos na unidade curricular “Acústica Ambiental”, lecionada no Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

É de salientar que esta dissertação foi realizada em plena pandemia mundial devido ao vírus SARS-CoV-2, e numa altura em que o país se encontrava em Estado de Emergência.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi organizada em seis capítulos para uma melhor compreensão do tema em questão. Os seguintes tópicos explicam sucintamente o que é abordado em cada capítulo.

No capítulo 1, “Introdução”, é apresentada uma contextualização do tema que é tratado neste trabalho, assim como os objetivos que se pretende realizar com o mesmo.

No capítulo 2, “Conceitos e Definições”, são analisados diferentes tópicos fundamentais da acústica geral que são a base de todos os trabalhos em acústica. Para além destes são ainda abordados temas relacionados com a acústica ambiental onde é explicado o comportamento da propagação do ruído ao ar livre. Este capítulo serve para disponibilizar ao leitor conhecimentos de acústica para uma maior compreensão do tema estudado.

No capítulo 3, “Estado da Arte”, apresenta-se sucintamente a legislação aplicável e estudos desenvolvidos sobre o tema tratado. É descrita a legislação existente na área da acústica ambiental, para controlo do ruído, tanto a nível europeu como a nível nacional. Foram também abordados alguns casos de estudo sobre ruído em cidades do mundo.

No capítulo 4, “Metodologia”, é descrito o procedimento da base experimental deste trabalho. São descritas as normas e procedimentos necessários de acordo com os guias disponibilizados pelas agências regulamentares e os equipamentos usados. São ainda apresentados os parâmetros de medição e análise e os locais em que as medições foram realizadas.

No capítulo 5, “Resultados”, são apresentados os resultados obtidos neste trabalho. É apresentada a evolução do ruído na cidade do Porto nos últimos 30 anos, sendo realizada uma análise aos valores adquiridos nos pontos de estudo nos diferentes anos. Está também presente uma análise à diferença dos valores de nível sonoro em dia de confinamento e em dia “normal”.

No capítulo 6, “Conclusões”, são apresentadas as conclusões obtidas com esta dissertação e são ainda apresentadas considerações para possíveis trabalhos futuros que incidam no tema desenvolvido.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. CONCEITOS BÁSICOS

2.1.1. SOM E RUÍDO

A Acústica é a ciência que estuda o som e analisa a sua propagação em meio sólido, líquido ou gasoso e as inter-relações com a vida da sociedade. O som como objeto de estudo, é visto como um estímulo sensorial sentido no cérebro, gerado devido à captação de alterações de pressão no meio de propagação, pelo sistema auditivo. Estas mudanças de pressão são provocadas por uma fonte sonora que envia um sinal pelo meio elástico através de ondas sonoras criando zonas de compressão e rarefação de moléculas que estão presentes (Fig.2.1) [5][12].



Figura 2.1 - Representação do som através de variações de pressão no ar [13].

Cada estímulo sonoro pode produzir um som ou um ruído. O termo ruído é por vezes erradamente considerado similar ao termo som, no entanto na acústica estes têm significados diferentes. O Ruído é interpretado como um sinal sonoro que é desagradável e/ou sem conteúdo informativo para o ouvinte. Por outro lado, o Som é agradável e/ou com significado para o ouvinte. O estudo destes sons e ruídos é assente em três âmbitos diferentes, mas complementares: Pressão, Frequência e Tempo [5][12].

2.1.2. PRESSÃO

Como dito anteriormente, os sons e ruídos traduzem-se em variações de pressão no meio de propagação, o qual geralmente é o ar. No entanto, nem todas as flutuações de pressão, quando detetadas pelo sistema auditivo humano, produzem uma sensação auditiva. Esta estimulação sonora só ocorre quando a amplitude destas flutuações e a taxa de variação estiverem entre limites que o ouvido humano consiga interpretar. As variações de pressão sonora são medidas em pascal (Pa) e tendo como referência a pressão atmosférica (P_{at}) que tem um valor aproximado de 101400 Pa, ou arredondando, de 10^5 Pa. A alteração da pressão em volta da pressão de referência traduz o som que é ouvido (Fig. 2.2) [5][12].

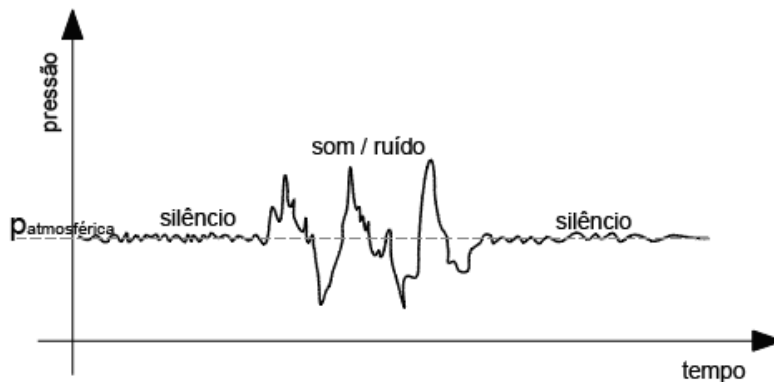


Figura 2.2 - Variação de pressão produzida por uma fonte sonora (som ou ruído) [14].

A lei da propagação das ondas de pressão sonora pode ser escrita em equação matemática com base nos três princípios fundamentais da mecânica, sendo estas: a lei das transformações adiabáticas, o princípio fundamental da mecânica e o princípio da continuidade. Esta equação da onda está descrita na expressão 2.1.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Em que c é a celeridade (m/s), p a pressão (Pa) e t o tempo (s).

A celeridade também designada por velocidade de propagação das ondas sonoras, varia no ar com a temperatura do mesmo segundo a expressão 2.2, que é válida para ar seco e ao nível do mar e onde θ representa a temperatura do ar em °C.

$$c = 20,045 \sqrt{273,15 + \theta(^{\circ}\text{C})} \quad (2.2)$$

As velocidades noutros meios físicos, assumem valores bastante diferentes. Enquanto que c em ar seco a 20 °C toma um valor de 342 m/s, em água doce a 17 °C é cerca de quatro vezes superior, aproximadamente 1430 m/s [5].

A pressão é uma variável da acústica que apresenta uma variação temporal que não pode ser desconsiderada. Deste modo, as medições de pressão realizadas em acústica são feitas com valores de pressão eficaz obtidas através de sonómetros. A pressão eficaz pode ser representada pela seguinte expressão:

$$p_e^2 f = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad (2.3)$$

Em casos em que o som tem origem em uma só frequência (som puro) a expressão anterior pode ser simplificada e assim, o valor de pressão eficaz é dada por:

$$p_{eficaz} = \frac{P_{máxima}}{\sqrt{2}} \approx 0,71P \quad (2.4)$$

2.1.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

No estudo da propagação sonora, é importante a análise de outras grandezas para além da pressão, como é o caso da intensidade e potência sonora.

A intensidade sonora (I) é definida como a média do fluxo de energia sonora que atravessa uma superfície normal com 1 m² de área em direção da propagação sonora e tem de unidades W/m². Esta é uma grandeza vetorial enquanto que a pressão é uma grandeza escalar. Por outro lado, contrariamente ao caso das duas grandezas já faladas, pressão e intensidade, a potência sonora (W) é descrita como dependente apenas da fonte sonora e não do meio ou efeito provocado pela mesma. É caracterizada como a energia total que atravessa uma esfera fictícia centrada na fonte durante um segundo, e tem de unidade W. Por outras palavras, a pressão sonora é a consequência provocada pela potência sonora da fonte que causa um estímulo sonoro. Na expressão 2.5 está apresentada a equação matemática que relaciona as três grandezas da propagação sonora [5].

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

Em que r é a distância (m) e ρ é a massa volúmica ($\approx 1,2$ kg/m³ no ar).

2.1.4. NÍVEIS SONOROS

A audição de um ser humano é muito sensível à variação da pressão sonora. O valor mínimo da variação de pressão que o ouvido consegue detetar, também conhecido como o limiar da audição, é de 10⁻⁵ Pa. Por outro lado, o valor máximo que é audível sem que este seja considerado ruído ou limiar da dor, é de 10² Pa. A pressão é uma grandeza relativamente fácil de medir, no entanto devido à sensibilidade do ouvido humano ser variada, as medições acústicas apresentariam valores pouco práticos se fossem apresentadas numa escala linear em pascal. Deste modo, utiliza-se, em substituição, uma escala comprimida com uma grandeza diferente, o decibel (dB) que é 1/10 do bel. Esta unidade não é utilizada apenas em Acústica, mas também em outras áreas de estudo uma vez que o dB pode ser adaptado a qualquer quantidade face a um valor de referência [5][15].

Assim, a pressão passa a ser analisada em níveis de pressão sonora (L_p) que consiste na conversão da escala usada, de pascal para decibel usando como valor de pressão sonora de referência (p₀) 2x10⁻⁵ Pa (expressão 2.6).

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ ou } L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.6)$$

Como dito anteriormente, para além da pressão, outras grandezas podem caracterizar um fenómeno sonoro. Deste modo as mesmas podem ser medidas também em dB criando assim outros níveis com diferentes valores de referência. Dois exemplos destes, é o nível de intensidade sonora (L_I) e o nível de potência sonora (L_W) cujas fórmulas de cálculo estão expressas nas expressões 2.7 e 2.8 respetivamente [5].

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.7)$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.8)$$

Sendo $I_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$ e $W_0= 10^{-12} \text{ W}$.

Em meios não controlados, normalmente existe mais do que uma fonte sonora, o que faz com que seja necessária uma adição de níveis de pressão sonora de duas ou mais fontes. Como se trata de uma soma em decibel, uma escala logarítmica, a adição é realizada de forma não algébrica. Na expressão 2.9 é apresentada a fórmula geral para a adição de n níveis [5].

$$L_{total} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.9)$$

2.1.5. FREQUÊNCIA

A frequência está presente em todos os sons e ruídos, podendo por vezes permitir a distinção de fontes sonoras pelos diferentes valores de frequência a que estas emitem o estímulo sonoro. É por isso uma das características mais importantes no estudo de propagação de sinais sonoros. Este parâmetro permite fazer uma quantificação da ocorrência de flutuações completas de pressão num segundo e mede-se em hertz (Hz).

O sistema auditivo do ser humano, jovem e com audição normal, consegue interpretar sons entre os 20 e os 20000 Hz, sendo este intervalo considerado como a zona do audível. Os sons/ruídos que apresentem valores de frequência fora desta zona, não são audíveis por uma pessoa e são considerados infra-sons se forem inferiores ou ultra-sons no caso de serem superiores. Dentro da zona audível é ainda possível uma divisão deste intervalo em três partes distintas, frequências graves (de 20 a 400 Hz), frequências médias (de 400 a 1600 Hz) e frequências agudas (de 1600 a 20000 Hz) (Fig. 2.3).

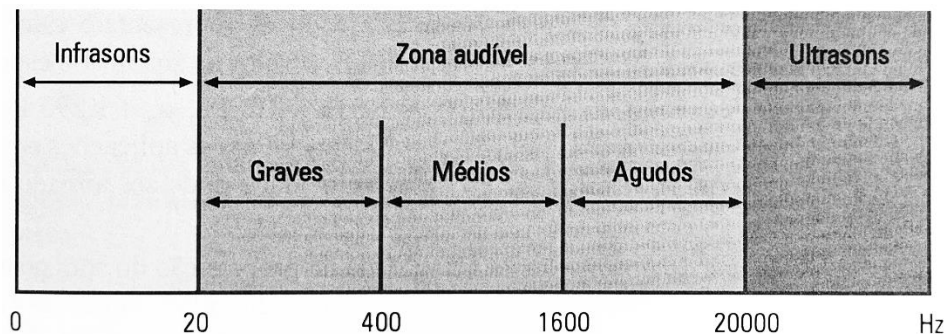


Figura 2.3 - Gamas de Frequência do ser humano [12].

Esta delimitação em zonas só pode ser aplicada ao ser humano, pois cada espécie animal tem uma capacidade auditiva diferente, logo os intervalos do audível variam. Exemplos dessa diferença são os cães e os morcegos que conseguem ouvir em frequências muito superiores, até cerca de 35000 e 98000 Hz, respetivamente [5].

Uma vez que existem sons e ruídos de diferentes frequências, a sua análise seria dificultada se esta fosse realizada para cada valor singular. Posto isto, de forma a facilitar o seu estudo, os milhares valores de frequências são compactados em bandas de frequência, que consistem em grupos de intervalos de frequências, com um limite inferior e um limite superior. Uma banda pode ter variadas larguras, no entanto no domínio da Acústica Ambiental e de Edifícios as mais utilizadas são as bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava (Fig. 2.4) [5].

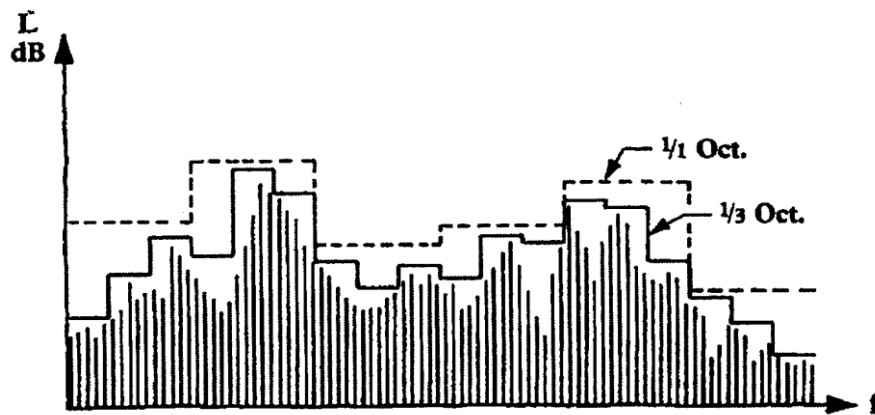


Figura 2.4 - Gama de frequências em bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava de um ruído [5].

Apesar da gama de frequências na zona do audível ser de 20 a 20000 Hz, em estudos acústicos de diversas áreas, não se estuda a gama inteira, restringem-se a gamas menores com maior interesse. Por exemplo, no caso da Acústica de Edifícios, as bandas normalmente utilizadas encontram-se entre os 100 e 5000 Hz. Já no caso de estudos de avaliação da exposição de trabalhadores ao ruído, o espectro de frequências com mais significado situa-se entre 63 e 8000 Hz [12].

2.1.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO

Os equipamentos usados na acústica (microfone, sonómetro, etc.) registam os valores com uma grande precisão independentemente da frequência a que o som é emitido. No entanto a sensibilidade auditiva do ouvido humano não é constante ao longo das frequências a que os estímulos sonoros são emitidos. Apesar da sensibilidade também ser afetada pela intensidade sonora, pode-se afirmar que, uma pessoa é mais sensível aos estímulos sonoros emitidos em frequências na zona dos 2300-2800 Hz e menos sensível a valores inferiores a 125 Hz.

Com o objetivo de adequar os valores captados pelos diversos equipamentos à percepção auditiva do ser humano foram criados filtros eletrónicos, os filtros A, B, C e D que são aplicados nos aparelhos de medição de forma a corrigir os valores registados. A correção realizada por cada um destes filtros em função das frequências representam-se por curvas denominadas como “curvas de ponderação” (Fig. 2.5). Os diversos tipos de filtros têm aplicabilidades diferentes. O filtro A é o mais utilizado sendo que ajusta os valores obtidos aos da percepção humana para estímulos sonoros de fraca intensidade. O filtro B e C são aplicadas para ruídos de maior intensidade. Já o filtro D apenas é aplicado em ruídos de tráfego aéreo [5].

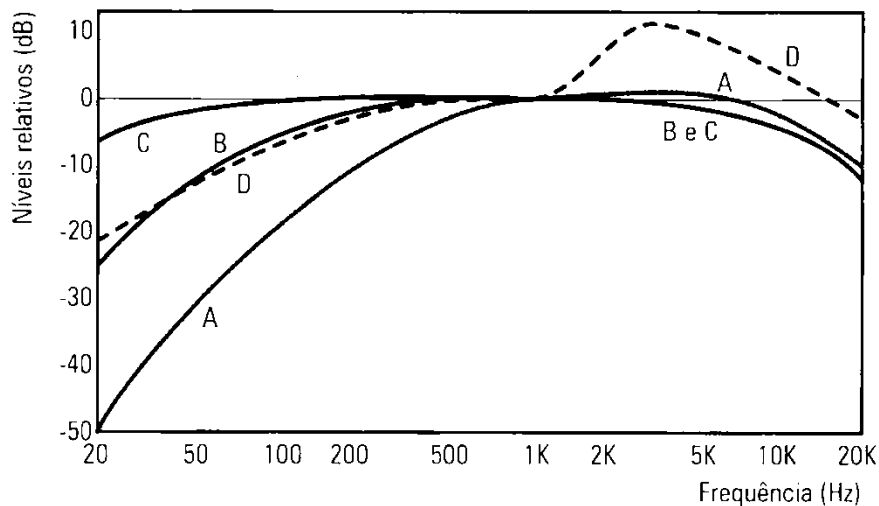


Figura 2.5 - Curvas de ponderação ou filtros A, B, C e D [12].

Os equipamentos de medição registam valores de pressão sonora (em dB) aos quais são somados algebricamente os valores da curva de ponderação A. Os valores obtidos são posteriormente adicionados logaritmicamente e o resultado é denominado por nível sonoro e apresentado em dB(A). Os valores das ponderações para as bandas de frequência de 1/1 oitava estão apresentados no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Valores numéricos das ponderações da curva A para as bandas de frequência de 1/1 oitava [5].

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

2.1.7. ANÁLISE NO TEMPO

No âmbito do tempo, existem ruídos/sons de diversas durações. Um estímulo sonoro pode ter uma duração instantânea, que se extingue brevemente, ou uma duração quase infinita, que se prolonga ao longo do tempo. Para uma análise no tempo, é então necessário um parâmetro que inclua a influência do mesmo devido à instabilidade temporal que os níveis de pressão sonora apresentam. Para o efeito, aplica-se o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}), que é um parâmetro descritor energético, de onde resulta o nível que, caso este fosse constante num período, produziria a mesma energia que o som em estudo (Expressão 2.10).

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.10)$$

A análise no tempo também é realizada através de parâmetros estatísticos pois estes permitem uma análise do som com base em quantis de densidade de probabilidade. Estes determinam o nível que é excedido em N% num certo intervalo de tempo e representa-se por L_N . Em Portugal, entre 1988 e 2001 eram mais utilizados os descritores L_{95} e L_{50} , no entanto estes entraram em desuso com a nova legislação que entrou em vigor. Algumas das legislações internacionais ainda utilizam parâmetros como L_5 , L_{10} , L_{90} , L_{95} , entre outros.

Simplificando, pode-se interpretar o L_{eq} como a média durante o tempo de medição e L_N como o valor em que durante o período de medição o nível de pressão é excedido em N% do tempo [5].

2.2. EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA

O ouvido humano é um sistema complexo e delicado que recebe, transmite e deteta alterações de pressão, o som. O sistema auditivo pode ser dividido em três partes: o ouvido externo, médio e interno (Fig. 2.6).

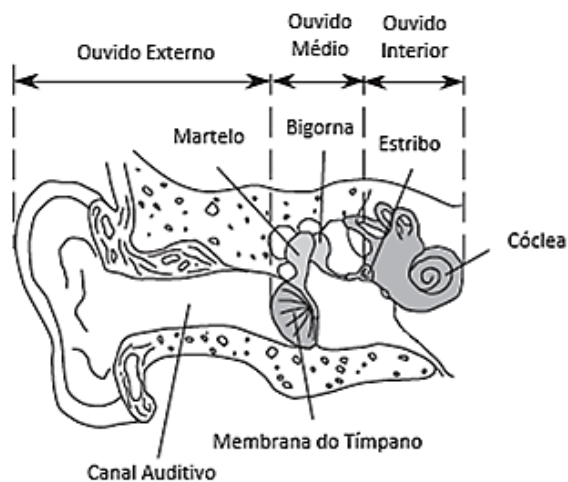


Figura 2.6 - Ilustração do Ouvido Humano. Adaptado de [16].

A parte externa do ouvido é a responsável pela receção das ondas sonoras e pela transmissão das mesmas até ao tímpano. O ouvido médio é composto pelos ossículos (martelo, bigorna e estribo) que funcionam como amplificadores e são responsáveis pela tradução do som do meio aéreo para o meio líquido e fazem a ligação à cóclea. No ouvido interno é onde se localiza a cóclea, onde no seu interior contém cílios, os quais recebem a vibração transmitida que provoca o movimento e inclinação dos mesmos, transformando assim a vibração em informação neural que é posteriormente transmitida ao cérebro [5].

Se uma das partes do ouvido perder alguma capacidade de exercer a sua função, acaba por haver uma degradação da audição da pessoa. A diminuição da capacidade auditiva pode ser causada por obstrução mecânica à passagem do som que ocorre entre o ouvido externo e o médio. Por outro lado, a redução da audição também pode ocorrer devido a um problema no ouvido interno, em que normalmente é derivado da danificação dos cílios ou então do nervo auditivo que liga o ouvido ao cérebro [12].

A perda de audição induzida é um dos efeitos mais significantes na exposição a ruídos. Segundo alguns autores [16], a exposição a fontes de ruído moderado apenas provoca uma perda de audição momentânea, no entanto, o ruído consegue provocar grandes estragos na capacidade auditiva, até mesmo uma perda permanente em casos de exposição a níveis de ruído muito intensos. A perda auditiva nem sempre é detetada inicialmente devido à composição da gama auditiva do ser humano (Fig. 2.7). De início, uma surdez parcial poderá não ser facilmente detetada pela pessoa que a tem, uma vez que, a perda de audição não atinge de imediato a região da percepção da palavra e da música, que são os sons mais habituais [5].

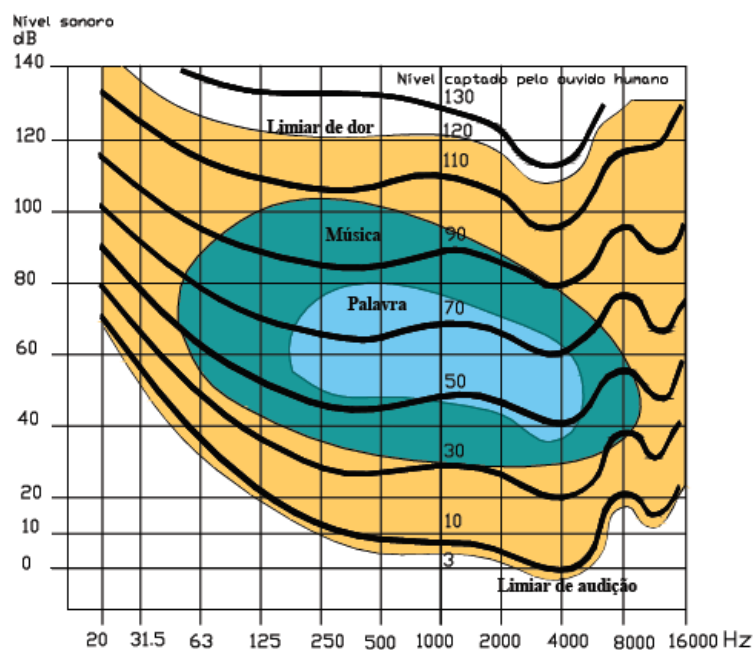


Figura 2.7 - Variação em frequência da gama auditiva [14].

Para além da perda de audição, o ruído provoca inúmeros efeitos negativos na saúde humana. A exposição a fontes de ruído pode provocar distúrbios no sono e no descanso e, para além disso, aumenta o risco de doenças cardiovasculares e desregulação do metabolismo. Pode ainda provocar efeitos a nível psicológico, como por exemplo, distúrbios emocionais, stresse mental e problemas de concentração e memória [17]. Todos estes efeitos podem ter um impacto significativo no desenvolvimento profissional e pessoal de um indivíduo.

2.3. ACÚSTICA DE EXTERIORES

2.3.1. PROPAGAÇÃO SONORA NO EXTERIOR E ATENUAÇÕES

2.3.1.1. ATENUAÇÃO DEVIDA A DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA

A atenuação do nível de pressão sonora por divergência geométrica é uma das atenuações mais importantes a ter em atenção na acústica de exteriores. Tal afetação é devido à propagação da onda sonora, que à medida que se distancia da fonte emissora, a sua superfície vai aumentando de dimensões, quer em fontes pontuais quer em lineares. As fontes sonoras pontuais, tal como indica o nome, são fontes que emitem o estímulo sonoro a partir de um só ponto. As fontes sonoras lineares, emitem o som não a

partir de um ponto, mas de conjunto de pontos ao longo de um segmento de linha. Uma vez que a área da superfície da onda aumenta, a intensidade sonora também varia ao longo da distância e pode ser calculada através das expressões 2.11 e 2.12 para fontes pontuais e lineares, respetivamente [5].

$$I(r) = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.11)$$

$$I(r) = \frac{W'}{2\pi r} \quad (2.12)$$

Sendo, I a intensidade sonora (W/m^2), W a potência sonora (W), W' a potência sonora linear (W/m) e r a distância emissor-recetor (m).

O nível de pressão sonora com a atenuação por divergência geométrica é então calculado pela expressão 2.13 e onde é aplicada a expressão 2.14 para fontes pontuais ou a 2.15 para fontes lineares.

$$L_p = L_w - A_{div.geom} \quad (2.13)$$

$$A_{div.geom} = 20 \log r + 11,0 \quad (2.14)$$

$$A_{div.geom} = 10 \log r + 8,0 \quad (2.15)$$

Para a determinação da variação do nível de pressão sonora com a variação da distância, utiliza-se as expressões 2.16 e 2.17 para as fontes pontuais e lineares respetivamente.

$$\Delta L = 20 \log \left(\frac{D_1}{D_0} \right) \quad (2.16)$$

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{D_1}{D_0} \right) \quad (2.17)$$

2.3.1.2. ATENUAÇÃO DEVIDA AO AR

No estudo da propagação sonora no exterior, a atenuação provocada pelo ar é necessária a ter em conta e esta deve ser estudada em três parâmetros: frequência, humidade relativa (HR) e temperatura do ar. Tanto para valores de baixas frequências como para valores de humidade relativa superiores a 30% a atenuação existente é pouco significativa (Quadro 2.8). A atenuação do ar é calculada através da expressão 2.18 que utiliza valores de coeficientes de atenuação atmosférica tabelados [5].

$$A_{Ar} = Coeficiente_{A.atmosferica} \times D \quad (2.18)$$

Sendo D distância (km).

Quadro 2.2 - Coeficiente de atenuação por absorção atmosférica (por km) para humidades relativas altas [5].

Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Frequência (Hz)							
		62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
30	50	0,091	0,351	1,25	3,57	7,03	11,7	24,5	73,1
	70	0,065	0,256	0,963	3,14	7,41	12,7	23,1	59,3
	90	0,051	0,202	0,775	2,71	7,32	13,8	23,5	53,3
20	50	0,123	0,445	1,32	2,73	4,66	9,86	29,4	104
	70	0,090	0,339	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9	76,6
	90	0,071	0,272	0,966	2,71	5,30	9,06	20,2	62,6
10	50	0,160	0,486	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7	155
	70	0,122	0,411	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8	117
	90	0,097	0,348	0,996	2,00	3,54	8,14	25,7	92,4

2.3.1.3. ATENUAÇÃO DEVIDA À ABSORÇÃO PELO SOLO

De uma maneira geral, a atenuação devida à absorção pelo solo depende do tipo de características do terreno que exerce atrito na propagação do som. Podem definir-se dois tipos diferentes de terreno, o terreno “rígido” que faz aumentar o nível de pressão sonora em 3 dB que é o caso do asfalto, betão e água líquida, e o terreno “macio” que tem efeito muito variável no nível que é o caso de relva, neve, vegetação [5]. No caso em estudo, apenas se irá encontrar mais exemplos de terrenos do tipo rígido.

2.3.1.4. ATENUAÇÃO DEVIDA AOS GRADIENTES DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO VENTO

O nível de pressão sonora também é afetado pelas condições meteorológicas, mais especificamente pelos gradientes verticais de temperatura e pela velocidade do vento. Alterações de temperatura do ar e de velocidade do vento a pequenas altitudes provocam o efeito da atenuação no som.

Quando ocorre um aumento da temperatura com o aumento da altitude, existe um gradiente de temperatura positivo. Este efeito provocará um aumento do nível sonoro nas altitudes próximas ao solo devido a uma difração descendente das ondas sonoras. Se existir uma diminuição da temperatura com a altura, trata-se de um gradiente de temperatura negativo e resultará no solo numa redução do nível de pressão sonora criando zonas de sombra devido à trajetória das ondas sonoras (Fig. 2.8).

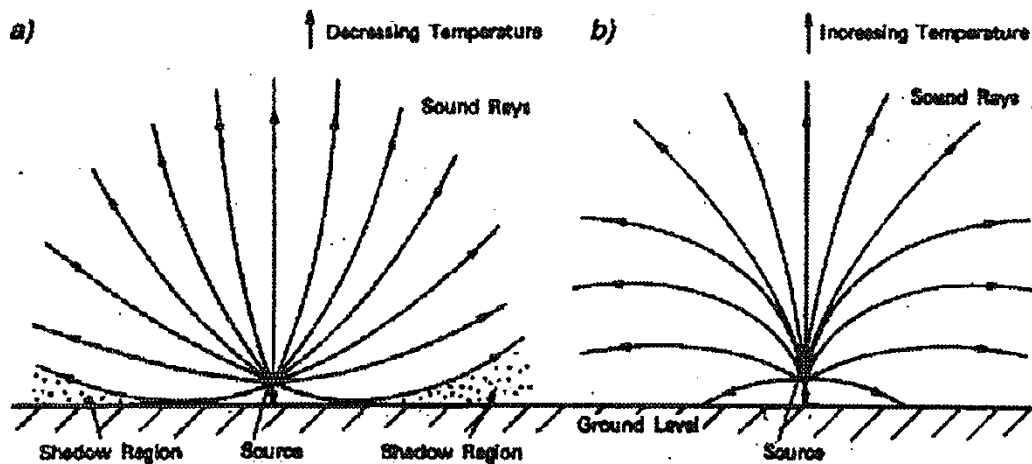


Figura 2.8 - Dois efeitos diferentes da variação da temperatura com a altura na propagação da onda sonora. a) Gradiente de temperatura negativo. b) Gradiente de temperatura positivo [5].

Já a velocidade do vento, que geralmente aumenta com a subida em altitude dependerá da localização da fonte sonora. Se o vento seguir a direção em favor da fonte, isto é, na direção fonte-recetor, este provocará um encurvamento das ondas sonoras em direção ao solo resultando num aumento do nível sonoro. Se a direção do vento for contrária, isto é, na direção recetor-fonte, esta resultará num encurvamento das ondas para cima que como resultado, o nível sonoro reduz e há criação de zonas de sombra (Fig 2.9). Estes efeitos provocados pelas condições meteorológicas só fazem variar os níveis de pressão sonora entre de -7 a +12 dB e só são válidos para distâncias superiores a 100 m [5].

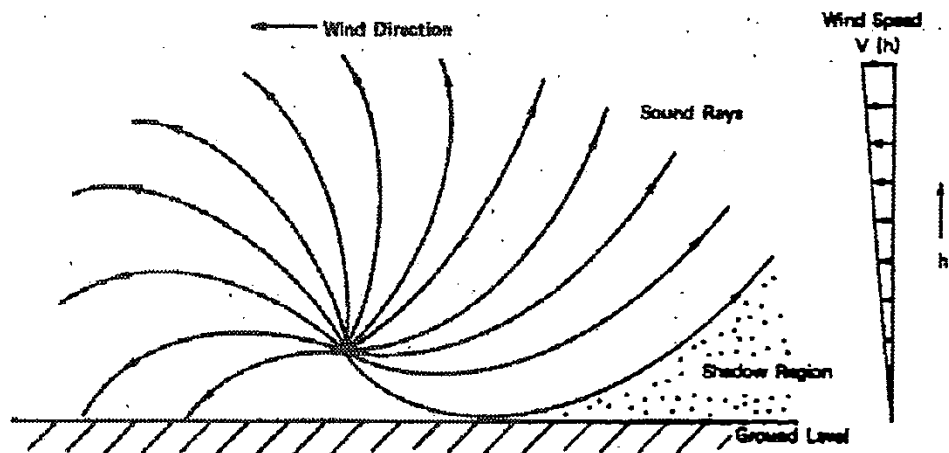


Figura 2.9 - Efeito da variação da velocidade do vento com a altura na onda na propagação da onda sonora [5].

2.3.1.5. ATENUAÇÃO DEVIDA À DENSA VEGETAÇÃO

A atenuação devido à densa vegetação é bastante significativa nas altas frequências, no entanto, esta só se verifica em campos de vegetações densas com espessuras superiores a dez metros. Existem vários métodos possíveis para o cálculo da atenuação. No quadro 2.2 está apresentado um dos métodos numéricos possíveis a utilizar para a determinação dos valores de atenuação para quando trabalha com distâncias superiores até duzentos metros. Para além da atenuação do nível de pressão sonora, o facto de um aglomerado de vegetação poder cobrir visualmente a fonte sonora dá um efeito de falsa sensação de eliminação do ruído [5].

Quadro 2.3 - Atenuação devida a vegetação densa em função da distância percorrida pelo som [5].

		Frequência (Hz)									
		31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Distância (m)	$10 \leq d < 20$	0	0	0	1	1	1	1	2	3	dB
	$20 \leq d \leq 200$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	dB/m

2.3.1.6. ATENUAÇÃO DEVIDA A EDIFÍCIOS

A atenuação devida a edifícios só existe se as edificações ocultarem completamente a fonte sonora do recetor, podendo a diminuição do nível de pressão sonora chegar no máximo até 10 dB. Na determinação da atenuação total que é aplicada na propagação do som, entre a atenuação devida a edifícios e atenuação devida a solos, apenas a que apresenta o maior valor deve ser contabilizada. A atenuação pode ser avaliada através da ISO 9613-2 segundo a expressão 2.18 [5].

$$A_{edifícios} = 0,1 B \cdot d_b \quad (2.18)$$

Sendo que:

$$B \text{ é a densidade de edifícios: } B = \frac{\text{Área (planta)edifícios}}{\text{Área total terreno (incl.edifícios)}}$$

E d_b é o comprimento (m) do caminho sonoro através da zona edificada.

2.3.1.7. ATENUAÇÃO DEVIDA A NEVOEIRO E A CHUVA

Para a determinação da atenuação devida a nevoeiro e chuva não existe forma fácil de prever o seu efeito devido à sua imprevisibilidade. No entanto, em situações de chuva e nevoeiro considera-se que existe um efeito de aumento da distância de propagação das ondas sonoras e ainda a diminuição do gradiente de temperatura e da velocidade do vento.

2.3.2. RUÍDO DE TRÁFEGO

2.3.2.1. RUIDO RODOVIÁRIO

O ruído do tráfego rodoviário é o resultado da adição dos ruídos de todos os veículos individuais num fluxo de tráfego. Se a densidade de veículos em circulação for alta, esta fonte de ruído pode ser considerada como uma fonte linear sonora [18]. O impacto do ruído citadino na saúde humana é um assunto já de conhecimento da comunidade científica e sabe-se que uma grande percentagem do ruído

ambiental existente é emitido pelo ruído de tráfego rodoviário. Sendo este um dos fatores que provoca maior incomodidade à população, por vezes, esta exige, a criação de restrições ao tráfego em certos horários ou então a construção de barreiras acústicas ou outras vias alternativas. Apenas fluxos de grande intensidade é que provocam a emissão de ruído que seja prejudicial a um indivíduo, e apesar de não danificar a capacidade do sistema auditivo, este apresenta consequências na saúde muito negativas, como referido anteriormente [19][20]. Em algumas vias de tráfego, a circulação rodoviária é realizada com um fluxo regular em algumas partes do dia o que permite estabelecer níveis sonoros constantes para essa via, com exceção de alguns picos de nível sonoro devido à passagem de veículos pesados ou motorizadas que provocam níveis de ruído superiores (Fig.2.10) [12].

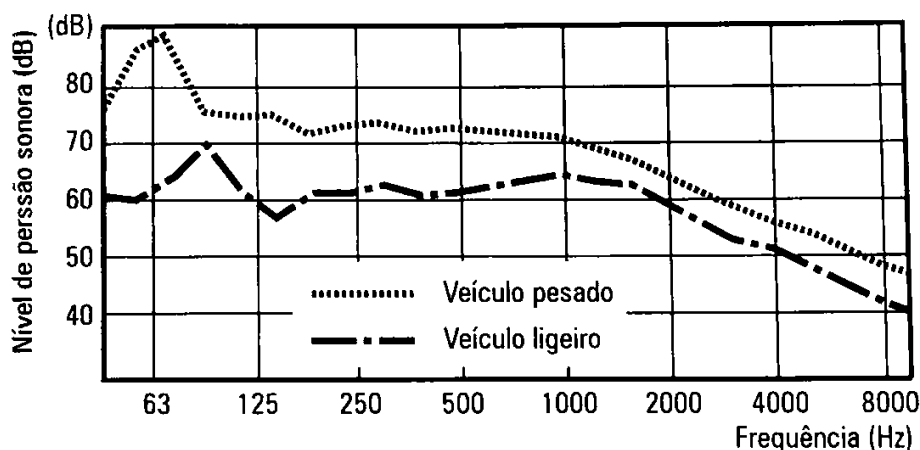


Figura 2.10 - Diferença do espectro de ruído produzido por tráfego de veículos pesados e ligeiros [12].

Um único veículo tem diversas fontes de ruído, como por exemplo a exaustão do motor, a entrada de ar, a radiação do motor, a ventilação, interação pneus-estrada, ruído aerodinâmico, entre outros. No entanto, os níveis de pressão sonora dos vários, altera dependendo do tipo de veículo, carga, condição e tipo de movimento. No geral, as três maiores fontes de ruído são: a propulsão/fontes mecânicas, a aerodinâmica e o contacto do pneu/estrada.

O ruído proveniente das fontes mecânicas são originárias no motor, o qual estando em funcionamento origina vibrações nos sistemas mecânicos ligados ao mesmo e ao veículo em si, originando assim uma emissão de energia sonora vibratória. O motor como principal fonte de ruído só se verifica em velocidades inferiores até, aproximadamente, a 20 km/h nos automóveis e 50 km/h nos camiões pesados [12].

A aerodinâmica de um veículo é alvo de vários estudos e existem inúmeras configurações diferentes. A produção do ruído deve-se à passagem do fluxo de ar pelo veículo, pela admissão e escape de gases e ainda por todos os escoamentos de ar na estrutura como o sistema de ventilação. A velocidade de tráfego é um dos parâmetros mais significantes na aerodinâmica, o nível sonoro varia muito com a mesma. O ruído aerodinâmico é o maior emissor de energia sonora em altas velocidades, superiores a, aproximadamente, 110 km/h em automóveis e 90 km/h em camiões pesados [12].

A relação de pneus-estrada é um dos maiores emissores de ruído rodoviário. É originário devido ao contacto entre os pneus e o pavimento, os quais, quando em más condições, aumenta o nível sonoro emitido. As condições da via, no caso de esta estar molhada ou não, também é um parâmetro importante, uma vez que provoca um aumento do nível de pressão sonora considerável (Fig. 2.11). Esta fonte de

ruído é uma das mais importantes a ter em conta no tráfego uma vez que é mais significativa para velocidades médias, entre 30 a 100 km/h para automóveis e 60 a 90 km/h para camiões pesados, velocidades que geralmente são mais habituais no tráfego [5][12].

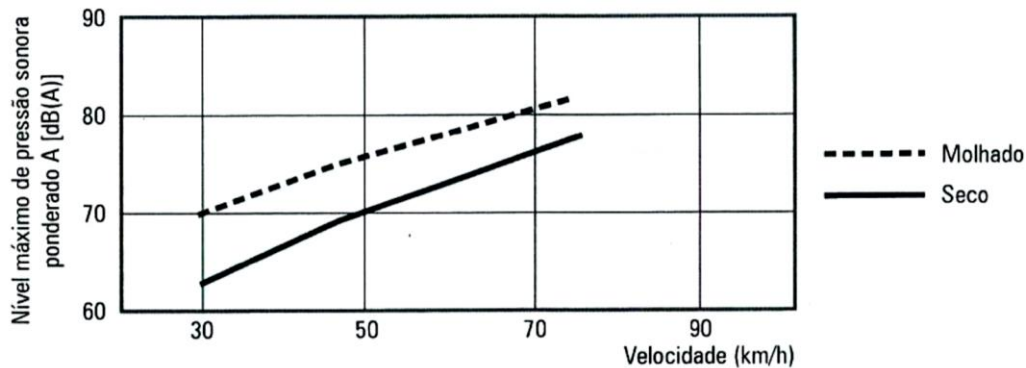


Figura 2.11 - Ruído gerado pelo contacto pneus-estrada em condições climáticas diferentes [12].

2.3.2.2. RUÍDO FERROVIÁRIO

Com o aumento da consciencialização da população em relação ao ruído como um problema ambiental, cada vez mais a construção de uma linha ferroviária origina um grande debate em relação ao potencial ruído que é produzido. Apesar de a forma de reagir ao ruído difere de indivíduo para indivíduo, e os valores de ruído do tráfego rodoviário serem superiores, estima-se que 4% da população mundial é incomodada por ruído ferroviário [21].

O ruído produzido pelo trânsito ferroviário é bastante variado devido à diversidade de modelos de comboios existentes, desde comboios de passageiros, comboios de carga, locomotivas a diesel, comboios elétricos, comboios de alta velocidade, entre outros [5]. Todos estes transportes têm uma produção de ruído associada, no entanto diferentes entre si (Fig. 2.12).

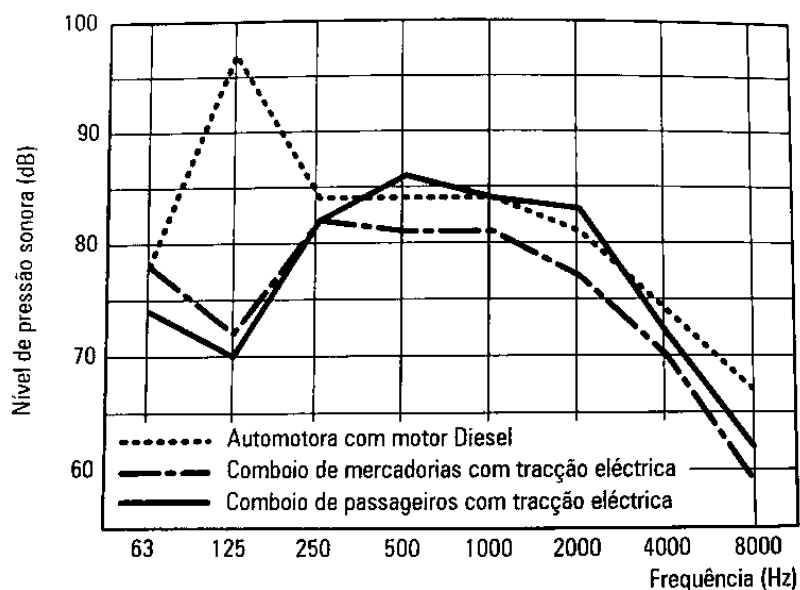


Figura 2.12 - Ruído produzido por diferentes tipos de comboios [12].

Os veículos ferroviários, tal como os rodoviários, emitem ruído de vários componentes da sua composição, resultando assim num sistema complexo de produção de ruído. De maneira geral, os comboios apresentam três fontes de ruído principais, o ruído de tração, o ruído de rolamento e o ruído aerodinâmico.

O ruído de tração que é predominante a baixas velocidades (até cerca de 40 km/h) é originado principalmente pelo motor, mas também pelos sistemas de ventilação, transmissão, entre outros. Os motores tanto podem ser a diesel como elétricos produzindo níveis de ruído diferentes como visto na figura 2.12. Os motores a diesel são consideravelmente mais ruidosos principalmente a gama de frequências baixas. Os motores elétricos são geralmente menos ruidosos, tendo uma diferença de nível de pressão sonora em média, de cerca de 10 dB [12].

A aerodinâmica dos comboios, tal como nos veículos rodoviários, também é uma das fontes de ruídos mais relevantes quando transita a altas velocidades (superior a 240 km/h). Esta fonte tem uma grande dependência da velocidade a que o veículo transita e quanto maior for a velocidade maior será o nível sonoro do ruído produzido [12].

O ruído da interação de roda-carril, ou ruído de rolamento, são deveras importantes principalmente a velocidades médias (entre os 40 e 240 km/h) e é considerada a fonte mais significativa nos veículos ferroviários [12]. Esta emissão de ruído depende de tudo que influencie a ligação da roda ao carril, como a velocidade de circulação, qualidade dos rodados, sistema de suspensão e força transmitida ao carril e a qualidade dos carris. Um balanço de todos estes aspetos podem fazer uma diferença de 15 dB no ruído emitido [21]. Um fenómeno muito característico associado a esta interação é o chamado *curve squeal*, ou em português, o chiar em curva. Este ruído provoca um sinal muito tonal, com valores de emissão de 20 dB superiores ao resto do ruído e que está associado à vibração das rodas em uma das suas ressonâncias [5].

2.3.3. BARREIRAS ACÚSTICAS

Na propagação de uma onda sonora, para se realizar uma correta avaliação da sua trajetória esta deve ser analisada em três pontos cruciais, a fonte do ruído, o meio de transmissão e o recetor do ruído [12]. Tendo como objetivo a redução do ruído que chega ao recetor, a utilização de elementos construtivos como barreiras acústicas é muito frequente, sendo estas colocadas no meio de transmissão, entre a fonte e o ruído. Estas são muitas vezes utilizadas para a redução de ruído produzido pelo tráfego rodoviário e ferroviário.

As barreiras acústicas são dispositivos limitadores da propagação do som, constituídas geralmente por materiais absorventes e/ou refletores de som. Estas são utilizadas para limitar a propagação de ruídos com efeitos nocivos para a saúde humana que têm como trajetória habitações e locais suscetíveis a estímulos sonoros. A energia sonora que interceta a barreira é dispersa através de fenómenos de reflexão, absorção e difração (Fig. 2.13). O ruído que é ouvido diretamente pelo recetor é a energia sonora que é propagada por difração por cima e pelas laterais da barreira.

Dos fenómenos mencionados, o efeito mais relevante para o desempenho das barreiras acústicas é a difração. As ondas geradas por difração, chegam ao recetor atravessando os limites da barreira criando duas zonas diferentes, a zona de sombra e a zona clara (Fig. 2.14). Na zona de sombra não existe nenhuma propagação de ruído, com exceção do que é transmitido através da barreira, no entanto com valores insignificantes se comparado com o ruído de difração. As ondas que ultrapassam a barreira dividem-se em zonas de intensidades diferentes.

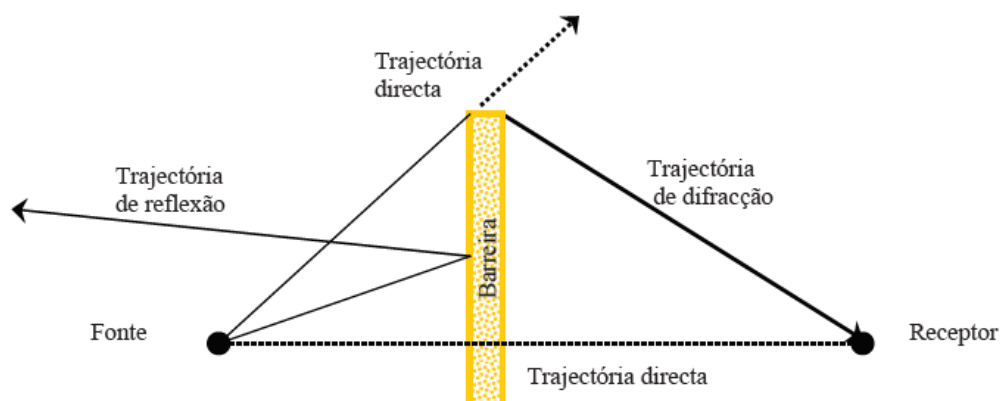


Figura 2.13 - Propagação do som na presença de uma barreira acústica [22].

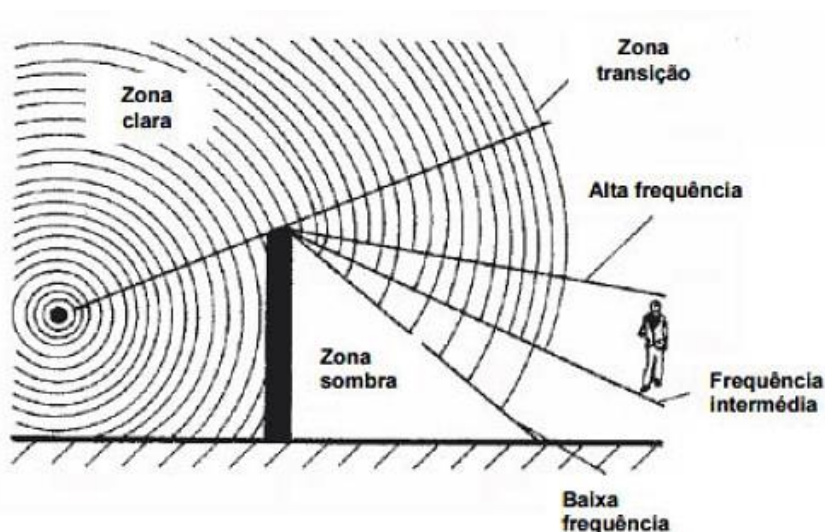


Figura 2.14 - Difração da onda sonora por uma barreira acústica [23].

De forma a se obter uma barreira eficaz, é necessário que a mesma seja bem construída em relação ao emissor/recetor, mas também a outras considerações físicas genéricas, como a estrutura, segurança, manutenção e aparência visual [5].

A nível da estrutura, deve ser considerado: a resistência da barreira ao seu próprio peso, às condições atmosféricas adversas e às catástrofes naturais; eliminação de espaços de ar entre o painel e o seu suporte; o local em que a barreira é instalada devido aos acessos e a escoamentos de água.

A nível da segurança, deve ser considerado: a implementação de uma distância de segurança de dez metros ou inferior no caso de existência de rail de proteção; o perigo de queda de painéis; o perigo de embate de animais e a aplicação de extremidades especiais para a atenuação de embates.

A nível da manutenção, deve ser considerado: a aplicação de proteções especiais para evitar vandalismos como grafiti e permitir acessos para limpeza de lixo e vegetação.

A nível da aparência visual, deve ser considerado: uma adaptação da barreira com base no ambiente envolvente de forma que haja uma diminuição do impacto visual.

3

ESTADO DA ARTE

3.1. LEGISLAÇÃO EUROPEIA

A nível europeu, a legislação existente no âmbito da acústica ambiental consiste na Diretiva 2002/49/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002 [9]. A diretiva foi criada como uma ferramenta na avaliação e gestão do ruído com o intuito de ser utilizada por todos os estados membros da União Europeia (UE) na identificação dos níveis de poluição sonora e na tomada de decisões. A Diretiva 2002/49/EC, também conhecida como a Diretiva Ruído Ambiente (DRA) tem como objetivo estabelecer uma base legal comum a todos os estados membros da União Europeia de forma a combater os efeitos nocivos associados ao ruído ambiente que todos os anos é um problema a nível mundial. A DRA pretende ainda que os diversos estados membros implementem variadas medidas gradualmente de forma a que haja informação e conhecimento do ruído existente em toda a UE [24]. Algumas dessas medidas são:

- delinear métodos comuns de avaliação de ruído ambiente e determinar valores limite de ruído;
- a seleção de indicadores comuns de ruído para serem utilizados em medições de exposição a longo prazo das pessoas ao ruído ambiental;
- impor a todos os países da União Europeia a realização de mapas estratégicos de ruído, de forma a que estes sejam utilizados como base para o desenvolvimento de planos de ação, prevenção e redução de ruído;
- obrigação na execução dos planos de ação nacionais;
- assegurar o acesso à consulta de informação sobre o ruído e os seus efeitos pelas comunidades.

As autoridades competentes e organismos responsáveis pela aplicação desta diretiva e das suas medidas são nomeadas por cada estado membro, tendo estas como encargos a elaboração e aprovação dos mapas de ruído e dos diversos planos de ação.

Após a publicação desta diretiva em 2002, treze anos mais tarde, foi publicada a Diretiva 2015/996 [25]. Esta diretiva veio reformular a anterior definindo especificamente métodos comuns de avaliação do ruído que todos os estados membros da União Europeia deveriam utilizar.

3.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL

A primeira vez que o tema da prevenção e controlo de ruído surgiu no ordenamento jurídico português ocorreu em 1987 na Lei nº 11/87 [26] também conhecida como Lei de Bases do Ambiente. Esta lei visa salvaguardar a saúde humana e o bem-estar das populações promovendo assim uma melhoria da qualidade de vida. A prevenção e controlo do ruído é uma das áreas de interesse da lei.

Atualmente, a nível nacional, o quadro legal principal que atua em relação ao ruído ambiental baseia-se no Decreto-lei n.º 146/2006 [27] que adapta a Diretiva Ruído Ambiente em Portugal, publicado em 2006, transpondo os objetivos da mesma para um contexto português. Este decreto permitiu haver um regime de elaboração de mapas de ruído, sendo necessário uma recolha de informação sobre os níveis de ruído ambiente e disponibilização da mesma à população. Este decreto foi posteriormente alterado e republicado pelo Decreto-lei n.º 136-A/2019 [28], atualizando a regulamentação de acordo com as alterações feitas na republicação da DRA em 2015.

Para além dos decretos anteriores, a regulamentação fundamenta-se ainda no Decreto-lei n.º 9/2007 [29] que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR) harmonizado de acordo com a diretiva da União Europeia. Este decreto-lei foi posteriormente alterado pelo Decreto-lei n.º 278/2007 [30] que corrige e altera alguns dos artigos publicados no decreto-lei anterior.

O RGR estabeleceu um regulamento de prevenção e controlo de poluição sonora, com a finalidade de proteger a saúde humana e o bem-estar das comunidades na Diretiva 2002/49/EC fazendo alterações à legislação existente à priori como a Lei de Bases do Ambiente e o Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de novembro. O domínio de atuação do RGR é maior que o da DRA, uma vez que se aplica a atividades ruidosas permanentes e temporárias, às infraestruturas de transporte, ao ruído de vizinhança e a várias fontes de ruído que são potencialmente causadoras de incomodidade, enquanto que a DRA atua num âmbito mais focado nas grandes infraestruturas de transportes e nas grandes aglomerações populacionais.

O Regulamento Geral de Ruído define as responsabilidades que são do encargo do estado, assim como por exemplo a responsabilidade por definir uma estratégia nacional para atuar no controlo do ruído que seja integrante nas políticas de desenvolvimento económico e social e nas restantes políticas de incidência ambiental, ordenamento de território e saúde. É ainda responsabilidade do estado e partilhada com as demais entidades públicas, o desenvolvimento de medidas de prevenção e controlo de ruído em carácter administrativo e técnico e de medidas para o controlo e minimização dos efeitos negativos provocados pelo ruído resultante de quaisquer atividades [29].

Quadro 3.1 - Critérios de Exposição para as Zonas Mistas e Sensíveis e as diferentes envolventes [5].

Classificação de zonas	L_{den}^{*1} dB(A)	L_n^{*2} 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 projeto	60	50
Zonas sensíveis na proximidade de GIT aéreo em projeto	65	55

^{*1} L_{den} - média ponderada do ruído ao longo do período diurno-entardecer-noturno (corresponde às 24h diárias)

^{*2} L_n - média ponderada do ruído ao longo do período noturno (23h-7h)

O decreto-lei define como uma responsabilidade de cada município uma classificação e delimitação em zonas, Sensíveis e Mistas. São ainda definidos limites máximos de exposição para cada zona, tendo em conta as suas características e a sua envolvente, como por exemplo a proximidade de grande infraestruturas de transportes (GIT) (Quadro 3.1). No caso de um município apresentar valores que excedam os critérios de exposição definidos, de forma a reduzir e gerir os efeitos do ruído na população, estas classificações devem ser consideradas nos mapas de ruído e nos planos municipais de redução de ruído.

3.3. ESTUDOS DE RUÍDO AMBIENTAL- CIDADES DO MUNDO

3.3.1. GOTENBURGO, SUÉCIA

Foi realizado um estudo em 1997 por Björkman *et al.* [31], com medições de ruído na cidade de Gotemburgo de forma a identificar os níveis sonoros provocados pelos diferentes tipos de veículos que estão em movimento diariamente na cidade. Foram selecionadas treze áreas na cidade onde foram realizadas as medições durante o período de uma hora. As medições foram realizadas fora da hora de ponta, entre as 10:00 e as 15:00 h. Diferentes tipos de veículos foram classificados em diferentes classes de acordo com a sua utilização e dimensão: motociclo, carro privado, carrinha de entregas, camião de peso médio, camião de peso elevado e autocarro. Na avaliação dos resultados, o autor informa que usa como diretriz do ruído do tráfego rodoviário o valor 75 dB(A) como o limite máximo emitido por um veículo.

Os resultados das medições mostraram que, em novecentas e cinquenta medições, 6% dos veículos excederam o nível sonoro de 70 dB(A) e que menos de 1% excediam 75 dB(A). Em análise à proporção do número de veículos que excederam o limite de nível sonoro, os camiões de peso médio foram os que excederam mais o limite de ruído, sendo que, no total de cinquenta camiões de peso médio, vinte e três (46%) emitiram ruído acima de 75 dB(A). Foi ainda analisado o efeito da engrenagem no ruído emitido num carro. Com os dados obtidos, nota-se que conduzir com uma engrenagem baixa a uma velocidade alta é causadora de um grande nível sonoro. Conduzir a altas velocidades com uma mudança de velocidade alta permite haver uma redução do ruído emitido pelo veículo. Neste último caso, o ruído que é emitido por um veículo é maioritariamente proveniente do contacto entre os pneus e estrada.

Este estudo concluiu que o ruído elevado no tráfego rodoviário provém principalmente de camiões de peso médio e apenas raramente de carros de passageiros ou camiões pesados. É explicado que este facto pode acontecer devido a uma condução agressiva em mudanças de velocidade baixas ou a uma insuficiente redução de ruído do veículo. É afirmado que em caso de ser preciso uma melhoria do ruído, o foco desta ação deve ser direcionado nestes veículos, melhorando a condução, o controlo de ruído do veículo e a manutenção do mesmo.

3.3.2. CÁCERES, ESPANHA

Um estudo realizado em 2002 por Morillas *et al.* [32], teve como objetivo determinar o nível de poluição sonora na parte urbana da cidade de Cáceres em Espanha. A estratégia de estudo do ruído utilizada baseia-se na seleção de pontos de amostragem pela cidade escolhidos em função de uma prévia classificação do ruído. Esta classificação preliminar é feita principalmente com base nos níveis de ruído do tráfego rodoviário, permitindo assim distinguir o ruído citadino em diferentes categorias de estradas levando a uma melhor seleção de pontos de amostragem. Foram criadas cinco categorias diferentes de acordo com a utilização das estradas:

- Tipo 1: Estradas periféricas da cidade que ligam os limites da cidade ao centro;
- Tipo 2: Estradas que unem os pontos limite da zona central da cidade e que atravessam a mesma;
- Tipo 3: Estradas de duplo sentido usadas para ligar diferentes zonas da cidade;
- Tipo 4: Estradas de sentido único que não se incluíam no Tipo 1 nem Tipo 2 que liguem diferentes zonas da cidade;
- Tipo 5: Todas as outras estradas da cidade não incluídas anteriormente. Este tipo de estradas foi excluído do estudo.

Foram então escolhidos seis pontos de amostragem para cada um dos quatro tipos de estrada onde foram medidos os níveis sonoros L_{eq} , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{max} e L_{min} . No total, foram realizadas 184 amostragens dispersas pelos 24 pontos de amostragem por toda a cidade. Numa análise geral, foi obtido um valor médio de L_{eq} de 70,6 dB(A) que é consideravelmente um valor elevado e é devido aos valores de ruído apresentarem valores superiores a 55 dB(A), sendo que 59.5% das medições foi superior a 70 dB(A), 90% superior a 65 dB(A), 98% superior a 60 dB(A) e 100% superior a 55 dB(A). Segundo o autor, 65 dB(A) seria o valor limite aceitável, e indica ainda que segundo a Organização Mundial de Saúde o valor mais conservativo para que não haja incomodidade seria 55 dB(A).

Uma vez que o método usado foi desenvolvido com base no tipo de estradas, os autores apresentaram uma análise dos valores dos níveis sonoros obtidos por tipo de estrada. Foi observado que as estradas dos Tipos 1 e 2 foi onde se obteve valores superiores e mais preocupantes, uma vez que estes tipos de estrada são considerados as mais importantes na movimentação da cidade, tanto no centro como na periferia.

Devido a estes resultados, foi realizada ainda uma análise adicional em que observaram a relação do fluxo de transito rodoviário com a alteração dos níveis sonoros. Observaram uma clara evolução do aumento do ruído com o aumento do fluxo de transito rodoviário.

Este estudo concluiu que a análise do ruído citadino em função do tipo de uso de estada e do fluxo de veículos é uma abordagem apropriada a seguir num estudo do ruído ambiental nas cidades. Mesmo numa cidade pequena e não industrial como Cáceres, os níveis sonoros nos variados pontos de amostragem dispersos pela cidade ultrapassaram os níveis do aceitável causando incomodidade na população.

3.3.3. MESSINA, ITÁLIA

Num artigo publicado em 2005 por Piccolo *et al.* [33], está descrito um estudo realizado na cidade de Messina em Itália, onde o objetivo foi fazer uma classificação preliminar da exposição da população ao ruído, pois trata-se de uma cidade com portos de embarque e com ligação a uma rede de autoestradas que são duas grandes fontes de ruído.

Messina é uma cidade de tamanho médio da região de Sicília, com cerca de trezentos mil habitantes. Para o estudo foi realizada uma divisão do território em seis áreas acústicas homogéneas com base na legislação italiana. A política italiana estabelece que todos os municípios devem realizar uma subdivisão do território em seis classes acústicas com base no tipo de uso do território havendo um valor limite para cada zona (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 - Limites de exposição ao ruído estabelecidos pela legislação italiana [33].

Tipo de Classe		Limite máximo permitido do L_{Aeq} dB	
		Dia (06:00-22:00h)	Noite (22:00-06:00h)
I	Áreas Protegidas	50	40
II	Áreas Residenciais	55	45
III	Áreas Mistas	60	50
IV	Áreas de Elevada Atividade Humana	65	55
V	Área Maioritariamente Industrial	70	60
Vi	Área Exclusivamente Industrial	70	70

Foram definidos trinta e cinco locais de amostragem ao longo das estradas da cidade de forma a que os valores obtidos representem adequadamente cada área delimitada. As medições foram realizadas para todos os pontos de amostragem durante o período diurno (06:00h-20:00h), e para seis destes foram repetidos durante o período noturno (22:00h-06:00h) com intervalos de uma hora. Para cada ponto, foram medidos os seguintes parâmetros: L_{eq} , L_{10} , L_{50} , L_{90} e L_{99} .

Na análise de resultados, foi realizada uma avaliação da variação do ruído com o tempo ao longo do dia, no qual é de se reparar que não há uma evolução constante, mas que existem picos de ruído em certas horas específicas devido ao tráfego rodoviário em horas de ponta ao longo do dia. Ao anoitecer observa-se uma diminuição constante do ruído como seria de esperar devido a, no geral corresponder às horas de repouso da população.

Fazendo uma análise aos valores de nível sonoro, todos os locais de amostragem estudados apresentaram, durante o dia, valores de L_{eq} superiores aos estipulados como limite pela legislação italiana (Fig. 3.1). A média de L_{eq} durante o dia toma valores de 71,6 dB(A), sendo que em média, nos pontos perto do porto de embarque são emitidos ruídos de 70,6 dB(A) e nos restantes pontos existem ruídos de média de 73,2 dB(A). Esta diferença de 2,6 dB(A) deve-se ao facto de pela cidade haver um grande fluxo de tráfego rodoviário que emite ruído que é aproximadamente o dobro do que é detetado perto dos portos.

Para os pontos medidos durante a noite, foi registado perto dos portos um valor médio de 64,1 dB(A) e nos pontos mais interiores na cidade um valor de 69,2 dB(A) dando uma diferença de aproximadamente 5 dB(A). Comparando com os valores estabelecidos com a política italiana, são valores que estão acima do que é aceitável para a maior parte das categorias. Para além destas comparações foram ainda realizadas análises ao ruído de fundo e calculada uma estimativa de incomodidade.

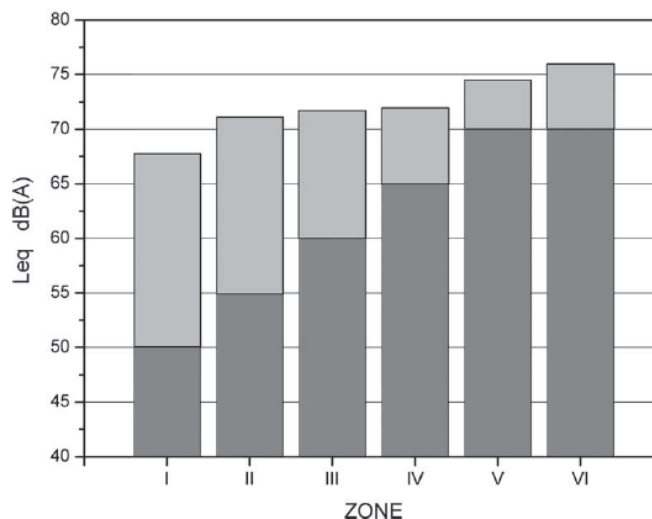


Figura 3.1 - Média de L_{Aeq} para cada zona acústica em Messina. Cinza claro demonstra o valor que está acima do limite estabelecido pela legislação Italiana [33].

Este estudo concluiu que numa cidade como Messina, de dimensão média, o ruído que é proveniente do tráfego rodoviário é relevantemente superior do que os limites padrão estabelecidos pela política de proteção da saúde Italiana. Em mais de 70% dos pontos examinados as pessoas residentes no meio envolvente, durante o dia, estão expostos a níveis sonoros superiores a 73 dB(A) o que causa efeitos negativos no comportamento e saúde humana como alta irritação constante. É concluído ainda que para uma boa identificação das áreas mais afetadas pelo ruído é preciso fazer um mapeamento da exposição ao mesmo recorrendo a mais medições por toda a cidade. Após o desenvolvimento do mapa de ruído, segundo o autor, o passo seguinte seria a realização de planos de recuperação para as áreas mais penalizadas de forma a minimizar os efeitos que possam ocorrer. Por fim, afirmam que a maior fonte de poluição sonora na cidade é o elevado tráfego na cidade, onde a implementação de uma medida de mitigação seria benéfica para a cidade.

3.3.4. KOPER, ESLOVÉNIA

Um artigo publicado por Čurović *et al.* [34] em 2020 retrata um estudo realizado sobre o efeito do COVID-19 no ruído ambiental do porto de Koper e no ruído do tráfego geral existente devido à atividade do porto. Nos últimos anos o ruído causado pelas atividades portuárias tem atraído atenção devido ao mesmo afetar as zonas residenciais mais próximas. O estudo tem como alvo o porto e estas zonas residenciais mais próximas da cidade de Koper e de Ankaran. Koper é a maior cidade costeira da Eslovénia e a quinta maior do país com uma estimativa de 25611 habitantes e Ankaran com uma estimativa de 3278 habitantes. A pandemia global provocada pelo coronavírus teve vários impactos na vida da população, como por exemplo na saúde, economia, comportamentos diários e no ambiente. Na Eslovénia como em muitos outros países, foram aplicadas medidas de confinamento de forma a combater a dispersão do vírus. Algumas das medidas aplicadas foram: isolamento, distância física, incentivo ao teletrabalho, o fecho de escolas e de serviços não essenciais.

Foi então realizada uma comparação entre dados de ruído obtidos previamente ao aparecimento do COVID-19 e os dados de ruído obtidos em abril de 2020, mês no qual havia regras de confinamento mais rigorosas. O porto tem três estações de recolha de informações que estão continuamente a registar os valores encontrados no local. A estação número um é principalmente influenciada pelo ruído proveniente do movimento de veículos e o parque de estacionamento. Nesta estação foi observado uma

diminuição de 3,2 dB(A) durante o dia, de 3,9 dB(A) no entardecer e 2,2 dB(A) durante a noite. A estação número dois é a estação que capta o ruído das maiores fontes do porto. Nesta estação foi observado uma diminuição de 3,1 dB(A) durante o dia, 2,4 dB(A) ao entardecer e de 3,2 dB(A) durante a noite. Já a estação número três, para além do ruído geral do porto que é captado, também algum ruído proveniente de tráfego rodoviário do exterior do porto é registado. Foi observado um decréscimo de 3,3 dB(A) durante o dia, 4,3 dB(A) ao entardecer e 5,7 dB(A) ao anoitecer. A diminuição do ruído na terceira estação foi comparativamente superior às restantes. Esta diferença é justificada devido ao tráfego no exterior do porto ter reduzido drasticamente devido às restrições, diminuindo assim o ruído captado por esta estação.

Este trabalho permitiu identificar que, em média, houve uma diminuição da energia acústica do porto em metade na maior parte das situações. Foram detetados valores até 5,7 dB(A) mais baixos, sendo esta uma alteração de ruído muito significativa para o meio. Com esta diminuição de ruído geral no porto, o número de pessoas das zonas ao redor do porto expostas a níveis altos de ruído, num período diário (24h), reduziu em 20% comparativamente a períodos antes do COVID-19. Estudos como este são de grande importância uma vez que fornecem informação importante na capacidade de deteção de alterações de curtas e longas durações no ruído ambiental. Pode ainda ajudar no delineamento de novos protocolos na monitorização, mapeamento e redução de ruído nos portos ou outros locais.

3.3.5. ESTOCOLMO, SUÉCIA

No artigo publicado em 2020 por Rumpler *et al.* [35] é descrito um estudo em que é realizada uma observação aos impactos provocados no ruído ambiental de Estocolmo pela implementação de medidas de confinamento devido ao COVID-19. Não só a propagação do vírus em si tem impacto na atividade humana, mas também a aplicação de medidas de restrição afetam essas mesmas atividades, principalmente nos maiores centros populacionais. O estudo da variação do ruído neste período permite verificar a influência que a atividade humana tem na acústica ambiental da cidade.

Foi escolhido um local estratégico na fachada de um edifício uma vez que este local está exposto a diversas fontes de ruído da cidade: semáforos que controlam duas das maiores estradas de tráfego rodoviário da cidade, uma importante paragem de autocarro, estação de metro e uma zona de grande atividade noturna com restaurantes, bares e discotecas. Foi realizada uma comparação dos níveis sonoros tendo em conta uma perspetiva temporal longa, comparando valores entre abril de 2019 e junho de 2020. Considerou-se como período de referência antes do COVID-19 desde a semana 16 de 2019 até à semana 9 de 2020, e o período sob influência da pandemia e das regras de confinamento desde a semana 13 até à semana 18 de 2020. Foram feitas médias dos valores de ruído semanais desses períodos e feita uma posterior comparação (Fig. 3.2 e 3.3). Tanto durante a semana como ao fim de semana nota-se numa diferença de ruído constante entre os dois períodos sendo que, o período referente à pandemia apresenta valores menores que o período de referência pré-pandemia. Ao longo de um dia, vemos diferentes padrões de ruído. Durante o dia de semana, entre as 07:00 e as 18:00 horas, vê-se diferenças de ruído de 2 a 5 dB(A), ao entardecer, entre as 18:00 e as 00:00 horas, diferenças de 2 a 3 dB(A) e durante a noite, entre as 00:00 e as 05:30 horas diferenças de 1 a 4 dB(A). Durante os dias de fim de semana nota-se padrões de diferença nos níveis de ruído semelhantes aos de semana, sendo que ao longo do dia identifica-se diferenças de entre 2 a 4 dB(A).

Este estudo permitiu concluir que a pandemia atual veio afetar a vida da população e de como esta teve que adaptar o seu dia a dia à situação. Existe uma clara correlação entre a diminuição da atividade humana nas cidades devido às restrições com a variação do nível sonoro que na cidade. Estes dados

demonstram a importância do investimento em soluções acústicas como fontes de monitorização sobre a evolução da vida urbana.

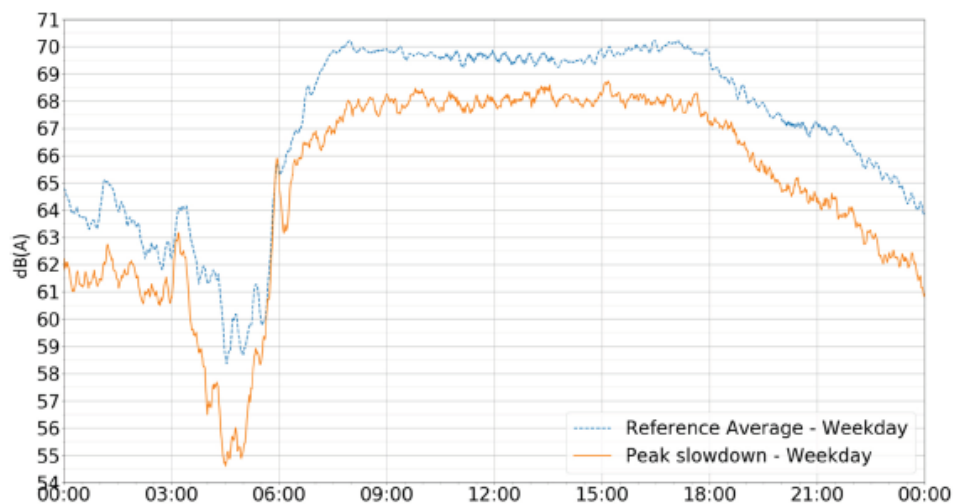


Figura 3.2 - Níveis sonoros médios em dia de semana calculados com os dados obtidos entre a semana 16 de 2019 e a semana 9 de 2020 de para período de referência pré-pandemia e com os dados obtidos entre a semana 13 a 16 de 2020 para o período de restrição devido à pandemia em Estocolmo [35].

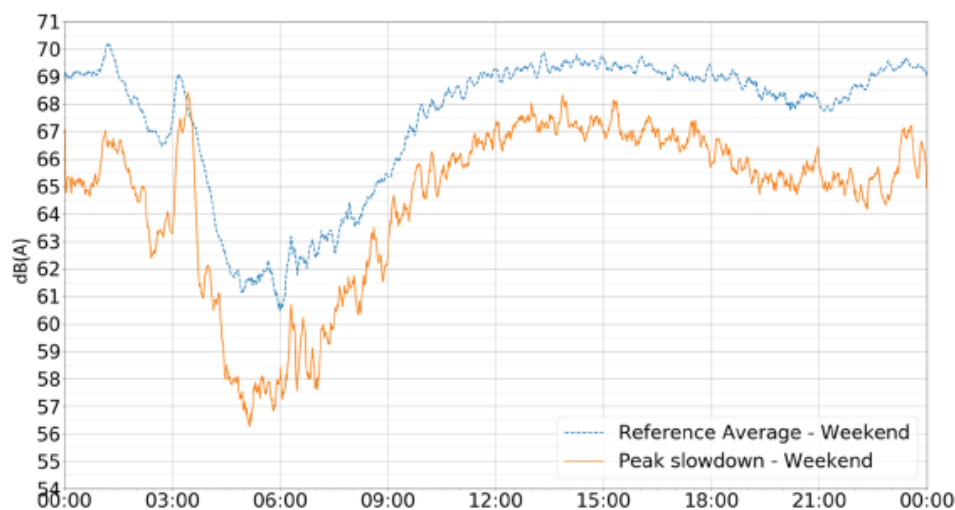


Figura 3.3 - Níveis sonoros médios em dia de fim de semana calculados com os dados obtidos entre a semana 16 de 2019 e a semana 9 de 2020 de para período de referência pré-pandemia e com os dados obtidos entre a semana 13 a 16 de 2020 para o período de restrição devido à pandemia em Estocolmo [35].

3.4. CIDADE DO PORTO – MAPA DE RUÍDO

O estudo do ruído num país não se deve limitar apenas à identificação das fontes de ruído, mas deve ser analisado também o nível de exposição a que a população está submetida e os efeitos que são provocados pela mesma. O desenvolvimento de mapas de ruído das cidades, como dito no início deste capítulo, é um dos objetivos da Diretiva Ruído Ambiente a implementar pelos estados membros. Os mapas de ruído são ferramentas de grande importância e utilidade pois ajudam no ordenamento de território sendo que organizam um aglomerado de informação sobre a exposição ao ruído ambiente exterior existente ou previsto, qual as zonas que devem ser priorizadas a atuar com planos de ação, prevenção e redução de ruído. O mapa de ruído é um documento, onde são representadas áreas limitadas por isófonas que dão a informação do valor de nível sonoro em 24 h (L_{den}) ou nível sonoro noturno (L_n) em dB(A) que são determinados por variadas medições ao longo de um ano [9][37].

A Cidade do Porto, objeto de estudo desta dissertação, é a segunda maior cidade de Portugal com quase 250 000 habitantes. É uma das cidades mais importantes do país, com uma grande atividade e em constante evolução. O ruído ambiental é um fator quase obrigatório numa cidade desenvolvida, e o Porto não é exceção e trata-se de um tema que não é recente, existindo referências ao ruído como um grave problema em notícias de 1990. Com a aplicação de medidas a nível europeu e adaptação das mesmas na política nacional, os diversos municípios tiveram a responsabilidade de aplicar as medidas propostas no âmbito do ruído ambiental, e a Cidade do Porto, nas últimas décadas tem atuado nesse sentido. Nos mapas de ruído da cidade apresentados (Fig. 3.4 e Fig. 3.5), o primeiro é apresentado com o parâmetro L_{den} que transmite a informação do nível sonoro em um dia completo, isto é, do ruído diurno-entardecer-noturno, o segundo é referente ao período noturno (das 23 às 7 h).



Figura 3.4 - Mapa de Ruído da Cidade do Porto utilizando L_{den} como indicador de ruído [37].



Figura 3.5 - Mapa de ruído da Cidade do Porto utilizando L_n como indicador de ruído [37].

Com a análise dos mapas de ruído, consegue-se observar níveis elevados nos dois períodos principalmente nas áreas adjacentes às vias de tráfego rodoviário primárias, nomeadamente a via rápida que atravessa a cidade, a Via da Cintura Interna (VCI). Neste local, durante o período de 24 h, consegue alcançar um L_{den} superior a 70,0 dB(A), e durante a noite um L_n superior a 60,0 dB(A). A exposição a estes valores de ruído é preocupante pois a VCI atravessa todo o tipo de utilizações de território, desde habitações, hospitais, escolas e liga o centro às extremidades da cidade. Por outro lado, várias zonas da cidade, nomeadamente as zonas mais afastadas das vias rápidas, apresentam valores até 45,0 dB(A) em período noturno, e até 55,0 dB(A) em período diurno-entardecer-noturno, que são valores consideravelmente bons para o bem-estar da população.

Retira-se que na zona central da cidade, circundada pela VCI, e nas áreas próximas a vias rápidas, é onde se encontra valores mais preocupantes, sendo estes os locais o alvo principal do Plano Municipal de Ruído do Porto que foi proposto em 2010, e que ao longo da última década tem sido desenvolvido com algumas medidas já aplicadas até à data [37].

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

Como referido anteriormente, o ruído na Cidade do Porto não é uma novidade recente, e já é referido como um grande problema da cidade há várias décadas. Esta dissertação é realizada com base num estudo efetuado para um artigo da revista Jornal de Notícias de Domingo (JND) publicado a 6 de maio de 1990 de título na capa “Porto é a Cidade de Todos os Ruídos” (Fig. 3.6) [11].



Figura 3.6 - Capa da revista *Jornal de Notícias de Domingo* publicada a 6 de Maio de 1990 [11].

O artigo intitulado por “Porto - A Cidade do Ruído: A surdez inevitável” [11] começa por referir o ruído como um inimigo a nível mundial apresentando uma estimativa de vítimas que chega a valores superiores a 250 milhões de vítimas, números os quais Portugal também é responsável. É afirmado que em Portugal sofrem de surdez cerca de 30% dos trabalhadores industriais, mas que, no entanto, não são os únicos a sofrer consequências provenientes do ruído sendo que uma grande parte da população apresenta efeitos negativos do mesmo, como perturbações nervosas e cardiovasculares.

De seguida é referido os diversos tipos de ruído que existem e os seus efeitos na saúde humana e que apesar de o ruído nas indústrias ser o mais prejudicial, havia cada vez mais queixas de ruído a nível pessoal contra ruídos dos vizinhos, discotecas, restaurantes, talhos e outros serviços. É afirmado que em Portugal já havia legislação para o controlo do ruído, com locais e níveis de ruído definidos, mas que, segundo as palavras de Ricardo Magalhães, ex-diretor regional do Ambiente, “a aplicação do Regulamento Geral do Ruído exige uma capacidade operativa que não existe”. Esta falta de capacidade de resposta e de coordenação entre as variadas identidades responsáveis é ainda apoiada e justificada pelo responsável do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia do Porto que afirma que “Só desde 1981 é que os engenheiros têm formação básica em acústica. Cerca de 90% dos engenheiros e 100% dos arquitetos ainda não têm qualquer conhecimento académico nesta área.” [11].

A meio do artigo é escrito que a Cidade do Porto “sofre ainda do pesadelo chamado ruído ambiental” para além do ruído proveniente das fontes diretas e ainda afirmado pela OCDE que “o Porto é a cidade mais ruidosa da Europa, com 36,5% dos seus habitantes expostos, entre as seis e as 22 horas, a mais de 70 decibéis”.

Devido à percepção de que o ruído é um grande problema na cidade, o JND com o apoio do Grupo de Estudos em Acústica da Faculdade de Engenharia do Porto, fizeram um estudo acústico em nove pontos espalhados pela cidade do Porto. Os valores obtidos suportavam o que tinha sido referido no artigo, uma vez que as médias dos resultados registados nas ruas com maior tráfego rodoviário, eram considerados

pelos limites internacionais, incómodos ou muito incómodos, isto é, superiores a 67 e a 71 dB respetivamente.

É com base nestes dados (Quadro 3.3) obtidos a 20 de Março de 1990, entre as 15:00 h e as 17:30 h (evitando a hora de ponta), que a presente dissertação se baseia, uma vez que os pontos de amostragem utilizados, vão ser os mesmos de forma a ser possível uma correta análise da evolução do ruído em 30 anos.

Quadro 3.3 - Níveis de Ruído Ambiental na Cidade do Porto a 20 de Março de 1990, entre as 15:00 e as 17:30h [11].

Ponto	Local	LA10 dB	LA50 dB	LA90 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

4

METODOLOGIA

4.1. NORMAS E PROCEDIMENTOS

4.1.1. NP ISO 1996

O termo “normalização” é definido pela NP EN 45020:2001 [38] como a atividade que estabelece providências que têm como objetivo o fornecimento de soluções e ordem, para um determinado problema real ou potencial e de utilização comum e repetitiva, num determinado contexto. É com base no objetivo da normalização que são criadas e aplicadas as normas.

O termo “norma” é pois, definido como um documento que é estabelecido através de um consenso e aprovado por uma entidade de normalização reconhecida, definindo as regras, linhas de orientação ou características para atividades ou resultados, de utilização comum e repetitiva alcançando um grau de ordem ótimo [38].

Em 1946 foi criada a *International Organization for Standardization* (ISO), e tem como objetivo o desenvolvimento de procedimentos padrão internacionais que são de grande relevância para o mercado global e para a inovação e solução de desafios globais [39].

A norma ISO 1996 foi criada com o objetivo de existir uma harmonização a nível internacional na metodologia usada na descrição, medição e avaliação do ruído ambiental. Em Portugal, a ISO foi traduzida em português e publicada em 2011 pelo Instituto Português de Qualidade (IPQ) denominada como NP ISO 1996 que mais tarde viria ser atualizada em 2019. Esta norma é dividida em duas partes, sendo a primeira parte designada por “Grandezas fundamentais e métodos de avaliação” e a segunda parte por “Determinação dos níveis de pressão sonora.”.

São apresentadas na norma, definições dos variados tipo de ruído e grandezas fundamentais, as condições ideais para uma correta seleção de intervalos dos níveis sonoros e os equipamentos adequados a utilizar de acordo com a sua classe de precisão.

4.1.2. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO

A Agência Portuguesa do Ambiente desenvolveu um guia prático [40] para a realização de medições de ruído ambiental tendo por base os conteúdos do RGR e a NP ISO 1996. Este guia foi atualizado em julho de 2020 e tem como função estabelecer requisitos mínimos nas técnicas de amostragem em diversos contextos acústicos e a aplicação da norma em procedimentos de medição, tanto a nível do tratamento de dados como da sua análise. Alguns dos conceitos e procedimentos de medição presentes

na guia são relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho. Salientam-se os seguintes pontos transcritos do guia e norma [40][41][42]:

- Intervalo de Tempo de Referência (períodos de referência)
Diurno: 07h00-20h00
Entardecer: 20h00-23h00
Noturno: 23h00-07h00
- Indicadores de ruído
 L_{den} , indicador de ruído diurno-entardecer-noturno – indicador de ruído, expresso em dB, ponderado A, determinado durante uma série de períodos diurnos, do entardecer e noturnos, representativos de um ano, associado ao incómodo global;
 L_n , indicador de ruído noturno – nível sonoro contínuo equivalente, em dB, ponderado A, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano;
 $L_{Aeq,T}$ (mensal) – nível sonoro contínuo equivalente determinado durante uma série de períodos representativos de um mês;
 $L_{Aeq,T}$ (diário) – nível sonoro contínuo equivalente determinado durante um período diurno;
 L_{Ar} ou $L_{Req,T}$ – nível de avaliação ou nível sonoro contínuo equivalente corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular.
- Locais de Amostragem
Os pontos de medição exteriores, em qualquer tipo de estudo, devem estar afastados 3,5 m lateralmente de qualquer estrutura refletora. Devem localizar-se a uma altura entre 3,8 e 4,2 m acima do solo no caso de se tratar de mapas de ruído municipais, e a uma altura entre 1,2 e 1,5 m nos restantes casos.
- Condições de Propagação
Derivado das condições meteorológicas presentes, enquanto estão a decorrer as medições, os níveis de pressão sonora podem ser adulterados, para tal, os limites de ruído devem ser baseados em valores médios para as condições de propagação relevantes ou para uma condição única específica.
- Equipamento
Deve ser utilizado um sonómetro de modelo homologado pelo Instituto Português de Qualidade, que detenha certificado de verificação válido para esse ano e que seja da classe de exatidão 1. Antes e depois das medições deve ser feita uma verificação com calibrador portátil; a obtenção de um desvio superior a 0,5 dB determinará a não-aceitação dos resultados.
- Sistema de Medição
O sistema de medição, incluindo o microfone, protetor de vento, cabos e registador, se existir, deve cumprir um dos seguintes requisitos: ser classe 1 como especificado na IEC 61672-1 ou ser classe 2 como especificado na IEC 61672-1 [43].

- **Período e duração das medições**
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.
No caso de não serem efetuadas 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, exceto quando a duração do ruído particular for inferior. 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 indicador base do ruído é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} .
- **Incertezas**
Os resultados das medições/cálculos, a constarem do ensaio acústico, devem ser arredondados ao número inteiro e sem apresentação nem contabilização de incertezas, a fim de serem comparados com os valores-limite estabelecidos no RGR.

4.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE

Na quantificação do ruído podem ser analisados variados parâmetros, sendo alguns descritos de seguida com base na norma NP ISO 1996 [42].

O “nível de pressão sonora” como já definido no segundo capítulo, é obtido através da expressão 2.6 e é apresentado em dB. Com a necessidade de adaptar o ruído captado ao que é ouvido pelo ser humano, este deve ser ponderado no tempo e em frequência com a aplicação do filtro A passando a designar-se “nível sonoro” e apresentado em dB(A).

O “nível máximo” transmite-se no valor máximo a que o nível de pressão sonora chega, sendo este ponderado no tempo e em frequência, num determinado intervalo de tempo e apresentado em dB.

O “nível de percentil”, ou nível excedido em N por cento do tempo de medição, também abordado anteriormente, é um parâmetro estatístico que representa o percentil de densidade de probabilidade, representado por L_N , e que apresenta o nível que é excedido em N% da duração temporal num certo intervalo de tempo. N pode adotar diferentes valores, sendo que os de interesse para esta dissertação (apesar de alguns já em desuso no panorama português) são os seguintes:

- L_{A10} – nível sonoro que é excedido em 10% do tempo de medição. Valor representativo do ruído de ponta;
- L_{A50} - nível sonoro que é excedido em 50% do tempo de medição. Valor representativo da mediana dos valores (enquanto que L_{eq} representa a média);
- L_{A90} - nível sonoro que é excedido em 90% do tempo de medição. Valor representativo do ruído de fundo.

O “nível de pressão sonora de pico” corresponde ao valor máximo absoluto da pressão sonora instantânea num dado intervalo de tempo, determinado com ponderação em frequência normalizada ou banda de frequências expressa em dB (Expressão 4.1).

$$L_{peak} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{p_{peak}}{p_0} \right)^2 \quad (4.1)$$

O “nível de exposição sonora” também designado pela sigla SEL (*Sound Exposure Level*), por vezes denominado como *single event level*, é igual 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 durante um intervalo de tempo, T , ou um acontecimento acústico” [42] (Expressão 4.2).

$$L_E = 10 \times \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (4.2)$$

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

Os “níveis de avaliação” são relativos a todo o nível sonoro, medido ou calculado, ao qual tenha sido adicionada uma correção. Um nível de avaliação pode ser obtido, por exemplo, pela adição de correções aos níveis medidos de forma a ter em consideração algumas características do som, como o caso da tonalidade ou a impulsividade. Pode ainda ser criado um nível de avaliação através da adição de correções aos níveis medidos ou previsto de modo a ter em consideração diferentes tipos de fontes sonoras.

4.3. EQUIPAMENTOS

4.3.1. SONÓMETRO

Numa caracterização sonora de um espaço livre ou recinto fechado, existe uma cadeia de medição em que a finalidade da mesma é a tradução da alteração de pressão provocada pelo sinal sonoro em informação legível e facilmente utilizável [12].

A cadeia de medição é constituída por diferentes componentes e depende do tipo de configuração dos equipamentos. É essencialmente composta por:

- Microfone (transdutor);
- Sistema de amplificação de sinal;
- Circuito de ponderação em frequência;
- Conversor para obtenção de valores eficazes;
- Mostrador.

Esta sucessão na medição, encontra-se atualmente, toda combinada num único aparelho, designado por sonómetro. Os sonómetros podem ser não integradores ou integradores e fazer medições em tempo real ou não. Sonómetros não integradores dão valores de ruído para cada instante, integrando a constante temporal específica (Fig. 4.1). Sonómetros integradores dão valores para um determinado intervalo de tempo de medição que é definido pelo operador do equipamento (Fig. 4.2).

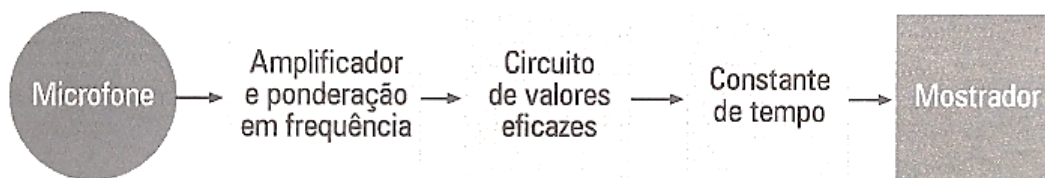


Figura 4.1 - Esquema da cadeia de medição de um sonómetro não integrador [12].

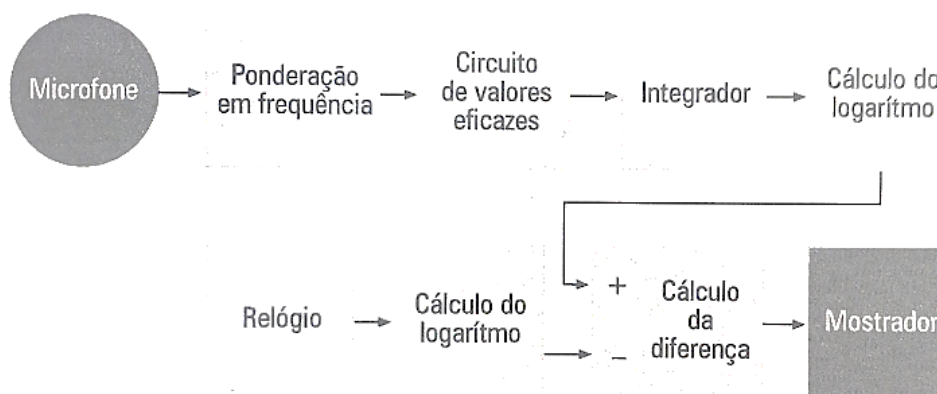


Figura 4.2 - Esquema da cadeia de medição de um sonómetro integrador [12].

A operação de sonómetros em tempo real, permite numa medição registar diferentes características sonoras no mesmo, como por exemplo os parâmetros descritores utilizados na área da acústica (L_{eq} , L_{min} , L_{max} , L_{50} , L_{95} , entre outros) ou então registar os níveis de pressão sonora em todas as bandas de frequência. Caso o registo sonoro seja feito com recurso a sonómetros que não têm a capacidade de operar em tempo real, só é possível uma quantificação paramétrica de cada vez, isto é, sempre que se pretender medir diferentes parâmetros descritores ou níveis de pressão sonora em diferentes bandas, é necessário efetuar medições independentes, ocorrendo estas num período de propagação do sinal diferente, o que em alguns ruídos não estacionários, poderá resultar em informações diferentes consoante a altura em que é medido.

Existem variados modelos e marcas de sonómetros, com configuração física diferente, com quantidades de canais de aquisição de dados diferentes ou com um tipo de programação diferente. No entanto, de acordo com a normalização, os diferentes estão separados em quatro classes de acordo com a exatidão do aparelho:

- Classe 0: Aparelhos com padrões de laboratório;
- Classe 1: Aparelhos para utilização em laboratório e *in situ* quando se encontra num ambiente acústico controlado;
- Classe 2: Aparelhos para medições *in situ*;
- Classe 3: Aparelhos com uma exatidão muito baixa, usados para estimativas.

4.3.2. TRANSDUTOR

O transdutor utilizado nos ensaios de acústica é, geralmente, o microfone devido à propagação do sinal sonoro ser realizado no ar. Sendo um transdutor um conversor de energia, a função do microfone é transformar a variação de pressão provocado por um estímulo sonoro num sinal elétrico.

O microfone é o componente mais importante num sonómetro devendo satisfazer às exigências técnicas necessárias para a obtenção de dados com exatidão e repetibilidade de uma medição, principalmente no que diz respeito em relação à frequência, gama dinâmica, diretividade e estabilidade. A componente das condições ambientais é de extrema importância de forma a garantir que o instrumento é utilizado com humidade, temperatura e velocidade do ar dentro dos limites definidos pelo fabricante [44].

Os microfones podem ter diferentes dimensões, podendo encontrar-se no mercado microfones com diâmetros de 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{8}$ polegadas, sendo o mais utilizada o de $\frac{1}{2}$ polegadas.

4.3.3. CALIBRADOR

Na utilização de um sonómetro, é necessário haver um controlo da precisão do mesmo, sendo assim preciso recorrer à realização de verificações da sensibilidade do aparelho à pressão sonora. Para o efeito, é utilizado um instrumento denominado por calibrador (Fig. 4.3). Este equipamento é uma fonte que emite estímulos sonoros de forma a produzir um certo nível de pressão sonora para uma determinada frequência específica definida, determinando assim a precisão do equipamento. A calibração pode ser feita de acordo com o tipo de uso do sonómetro e o meio em que é usado, desde laboratórios a medições em ar livre [45].



Figura 4.3 - Exemplo de calibrador da marca Brüel & Kjær [46].

4.3.4. DETETOR

O detetor é um circuito dentro do sonómetro que permite obter a informação de interesse do sinal que recebe na medição, isto é, consegue extrair o valor eficaz denominado também por RMS (*root mean square*) (Expressão 4.3) ou o valor do sinal instantâneo mais elevado (valor de pico) (Fig.4.4).

$$P_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (4.3)$$

O funcionamento de um detetor baseia-se na definição dos limites do sinal que é realizada com recurso a uma média temporal denominada por média exponencial. Os sonómetros fornecem médias temporais com constantes de tempo diferentes, sendo que nos mais usados apresentam constantes iguais a 125 ms e 1 s, também denominadas por *fast* (F) e *slow* (S). Existe ainda um terceiro modo que é designado por *impulse* (i), em que o valor da constante de tempo de subida de 35 ms, que é seguida por um detetor de pico com 1,5 s de tempo de decaimento [44] (Quadro 4.1).

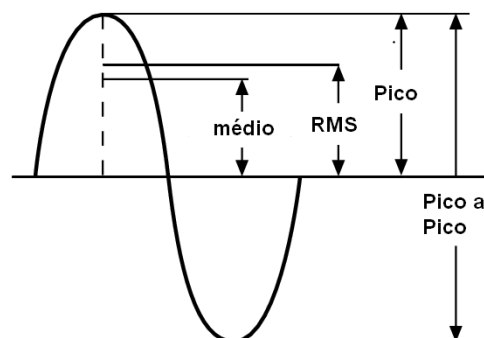


Figura 4.4 - Relação do valor eficaz (RMS) com o valor médio e o valor de pico [47].

Quadro 4.1 - Constantes de tempo num sonómetro e a sua aplicabilidade [44].

Constante de Tempo de Resposta	Nº de Medições por segundo	Indicações
<i>Slow</i>	1	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>	8	Acompanha melhor as flutuações dos níveis sonoro que a constante <i>Slow</i>
<i>Impulse</i>	29	Medição de ruídos impulsivos

4.4. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LOCAIS DE ESTUDO

4.4.1. EQUIPAMENTOS

No âmbito da presente dissertação, foram realizadas diferentes medições de ruído ambiental na cidade do Porto, com recurso a um conjunto de equipamentos de precisão acústica.

Foi utilizado um sonómetro integrador de classe 1 da *Brüel & Kjær*, modelo 2236, com um microfone condensador tipo 4188 para campo livre e de ½ polegada e com uma sensibilidade de -30 dB re 1V/Pa ± 2 dB e um alcance em frequência entre 8 e 12500 Hz ± 2 dB [48]. Para a estabilização do equipamento utilizou-se um tripé de fixação, com adaptação aos instrumentos da *Brüel & Kjær* e com uma altura de 1,20 metros de altura do solo de forma a estar de acordo com a norma NP ISO 1996. No microfone foi usada uma esponja de proteção no sentido de reduzir o efeito sonoro do vento na medição e de forma a proteger o equipamento de qualquer acidente. Em relação à direccionalidade do microfone, esta é praticamente omnidireccional nas baixas frequências até 4 kHz. Nas frequências superiores nota-se algumas irregularidades na direccionalidade (Fig.4.5).

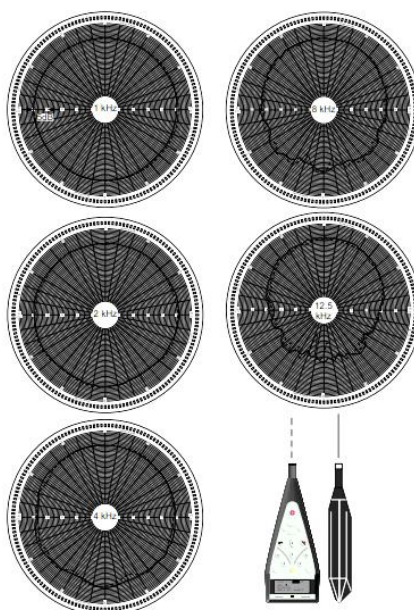


Figura 4.5 - Direccionalidade do microfone do sonómetro *Brüel & Kjær* modelo 2236 [48].

4.4.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE

Os parâmetros analisados nesta dissertação nos diferentes locais de medição foram os seguintes:

- L_{Aeq} ;
- L_{A10} ;
- L_{A50} ;
- L_{A90} .

Estes parâmetros foram todos registados com a utilização do filtro A de forma aos resultados estarem adequados à capacidade da audição humana. Os valores foram registados tendo em conta a constante de tempo que estava definida em modo *fast*, fazendo oito registos por segundo.

4.4.3. PROCEDIMENTO

A realização das medições necessárias para este trabalho, foram realizadas de forma a serem obtidos valores fidedignos e com valor científico. Para o efeito foi definido um procedimento igual para cada ponto de amostragem. De seguida, faz-se uma enumeração dos princípios seguidos e do procedimento efetuado:

- Uma vez que diferentes condições meteorológicas influenciam os valores de níveis sonoros obtidos, foi preciso ter as mesmas em consideração no momento da amostragem. As medições foram realizadas em dias sem precipitação e com intensidades de ventos inferiores a 5 m/s;
- Os pontos selecionados para se registar os valores de ruído da cidade foram iguais aos pontos de trabalhos prévios, de forma a poder haver um comparação fidedigna, sendo estes nove pontos espalhados pela cidade do Porto;
- Sendo um dos objetivos desta dissertação a comparação dos valores de ruído obtidos com os valores dos trabalhos prévios, as medições foram realizadas em dia útil, e foi utilizada uma janela horária análoga a esses estudos, sendo esta durante o período diurno, mais especificamente entre as 14h00 e as 18h00, sendo assim fora das horas de ponta;
- Sendo a comparação do ruído ambiental citadino em dia normal com o ruído de “silêncio” sentido em dia de confinamento devido à pandemia provocada pelo COVID-19 outro dos objetivos deste trabalho, a janela horária para estes pontos foi igual à anterior, no entanto, neste caso, foram realizadas medições em dia confinamento obrigatório em dias de fim de semana;
- Nas medições em dia normal, foi utilizado um tempo de medição entre 15 a 20 minutos de maneira a serem obtidos valores representativos do ruído existente das variadas fontes de ruído;
- Nas medições em dia de confinamento, foi utilizado um tempo de medição de aproximadamente 5 minutos devido à pouca diversidade e quantidade de fontes de ruído, o qual permitiu os valores de nível sonoro estabilizarem mais rapidamente;
- O sonómetro foi, sempre que possível, colocado em pontos que não impedisse a circulação peões;
- O equipamento foi colocado, a pelo menos 3,5 metros de distância de superfícies refletoras e a 1,2 metros de altura do solo recorrendo à utilização de um tripé de fixação;
- Em todos os pontos de medição foi realizada um registo fotográfico do equipamento e da área envolvente para meios de localização e de memória descritiva.

Tendo em consideração esta metodologia, foram então realizadas as medições nos nove pontos em estudo de forma a fazer um levantamento dos valores de ruído na cidade do Porto em 2020 para uma posterior análise e comparação com valores medidos em trabalhos semelhantes de anos anteriores.

5

RESULTADOS

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

5.1.1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

5.1.1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta dissertação é realizada com base num artigo publicado em 1990 na revista do Jornal de Notícias de Domingo no qual foi realizado um estudo de ruído ambiental da cidade do Porto através de pontos de amostragem. Foram definidos nove pontos diferentes espalhados pela cidade para uma boa perceção do panorama do ruído em pontos fulcrais da cidade (Quadro 5.1) (Fig. 5.1). Uma vez que, uma das principais fontes de ruído na cidade provém do tráfego automóvel, a maioria dos pontos encontram-se a poucos metros de vias de circulação, sendo algumas destas cruciais para a circulação na cidade.

Quadro 5.1 - Locais na cidade do Porto em que foram realizadas medições de ruído e as suas correspondentes coordenadas geográficas [49].

Ponto	Local	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
1	Praça Marquês de Pombal (esq. da Constituição)	41° 9'42N	8°36'15W
2	Rua Santa Catarina (esq. Rua Gonçalo Cristóvão)	41° 9'12N	8°36'17W
3	Praça da República (em frente à Rua Alvares Cabral)	41° 9'15N	8°36'47W
4	Rua da Boavista (esq. Rua Aníbal de Cunha)	41° 9'23N	8°37'14W
5	Rotunda da Boavista (Praça Mouzinho de Albuquerque)	41° 9'27N	8°37'41W
6	Campo Mártires da Pátria (Reitoria da U.Porto)	41° 8'45N	8°36'57W
7	Rua Rodrigues de Freitas (entrada do jardim de S. Lázaro)	41° 8'44N	8°36'11W
8	Rua D.João IV (entrada do jardim de S.Lázaro)	41° 8'46N	8°36'7W
9	Praça da Liberdade (próximo à estátua de D.Pedro IV)	41° 8'46N	8°36'41W



Figura 5.1 - Localização dos nove locais de amostragem no mapa da cidade do Porto [adaptado 49].

Querendo fazer um adequado levantamento do ruído habitual da cidade e não de alturas do dia de ruído extremo, todas as medições foram realizadas entre as 14h e as 18h de forma a evitar o ruído proveniente do tráfego das horas de ponta.

Para o primeiro objetivo desta dissertação, o do estudo da evolução do ruído dos últimos trinta anos, foram realizadas medições nos seguintes dias:

- Ponto 1 e 2 - 11 de novembro de 2020 (quarta feira);
- Ponto 3 a 5 - 13 de novembro de 2020 (sexta feira);
- Ponto 6 a 9 - 17 de novembro de 2020 (terça feira).

Para o segundo objetivo, o do estudo do ruído no “silêncio” da cidade, foram selecionados dias nos quais o governo português tivesse declarado regras de confinamento devido à pandemia provocado pelo COVID-19. As regras aplicadas basearam-se num recolher obrigatório a partir das 13h ao fim de semana evitando assim a circulação das pessoas na via pública diminuindo o ruído ambiental. Os dias em que as medições ocorreram foram:

- Ponto 1 a 9 – 21 de novembro de 2020 (sábado);
- Repetição dos pontos 6 e 9 – 22 de novembro de 2020 (domingo).

Uma vez que as condições meteorológicas influenciam as medições e como dito anteriormente, há valores limite a cumprir para serem realizadas amostragens com rigor, foi recolhida a informação meteorológica de cada dia de amostragem com recurso ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera, mais concretamente do Instituto Meteorológico da Serra do Pilar [50], uma vez que era o instituto mais próximo do local de amostragem (Quadro 5.2). Estas condições não foram estudadas em cada ponto uma vez que a recolha desta informação com precisão é complicada devido a, no ambiente exterior, haver muitas variáveis que interferem na propagação do ruído e a sua monitorização seria exagerada no trabalho académico presente.

Quadro 5.2 - Condições meteorológicas registadas pelo Instituto Meteorológico da Serra do Pilar nos dias de medição [50].

Data	Dia da Semana	Temperatura Máxima (°C)	Humidade Relativa Máxima (%)	Velocidade do Vento Máxima* (m/s)
11/11/2020	4º feira	18,7	96	3,3
13/11/2020	6º feira	20,8	93	3,9
17/11/2020	3º feira	21,0	99	1,9
21/11/2020	Sábado	19,5	81	4,8
22/11/2020	Domingo	19,9	96	4,7

*Velocidade do vento nos locais de medição, seria possivelmente inferior

5.1.1.2. PONTO 1 – PRAÇA MARQUÊS DE POMBAL

O ponto 1 corresponde à Praça Marquês de Pombal é um dos locais mais emblemáticos da cidade do Porto. Situa-se na freguesia de Santo Ildefonso e o ponto de medição localiza-se no limite do jardim perto da esquina com a Rua da Constituição (Fig. 5.2, 5.3 e 5.4).

Neste ponto localiza-se um jardim central utilizado para lazer, onde se encontra um coreto, uma fonte de água, mesas e bancos e uma entrada para estação subterrânea do metro “Marquês”. Por norma estão presentes pessoas de diversas idades a usufruir do jardim, atividades como passear, a descansar e a conversar. É um ponto da cidade muito conhecido por ser um local de aglomeração de pessoas mais idosas que se sentam a jogar cartas e a conviver durante todo o dia. Esta praça é rodeada por urbanização, desde habitações, cafés, lojas, uma igreja e outros serviços. É um ponto com um alto movimento rodoviário sendo que esta praça faz ligação de seis ruas distintas da cidade.

Segundo o Plano Diretor Municipal do Porto (PDM) [51], em análise à planta de condicionantes do mesmo, verifica-se que este local está definido como uma zona mista.

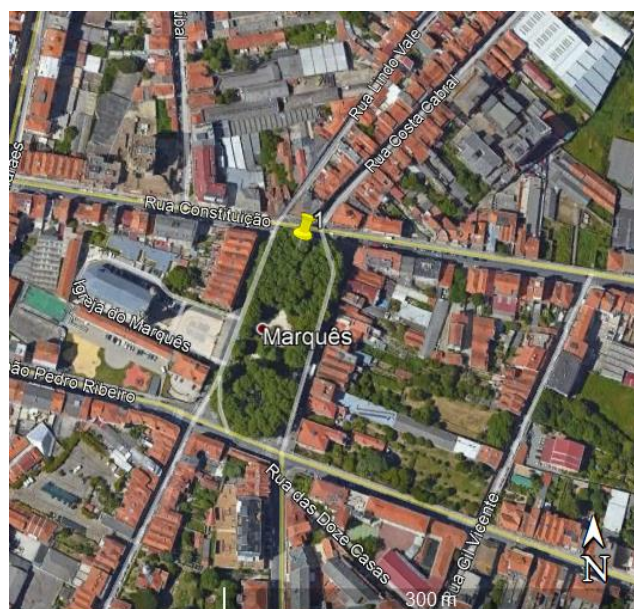


Figura 5.2 - Localização do ponto de medição 1 [adaptado 49].



Figura 5.3 - Medição no ponto 1 com vista para a entrada da praça [foto do autor].



Figura 5.4 - Medição no ponto 1 com vista para a Rua da Constituição [foto do autor].

5.1.1.3. PONTO 2 – CRUZAMENTO DA RUA SANTA CATARINA COM A RUA DE GONÇALO CRISTÓVÃO

O ponto 2 situa-se na extensa Rua de Santa Catarina que tem um comprimento de cerca de 1500 metros de comprimento [52] e situa-se na freguesia de Santo Ildefonso. Esta rua ao longo da sua extensão tem diferentes tipos de circulação, uma vez que tanto pode ser só para a circulação de peões como para circulação de veículos e peões. O ponto de amostragem situa-se no cruzamento desta rua com a Rua de Gonçalo Cristóvão (Fig. 5.5, 5.6 e 5.7).

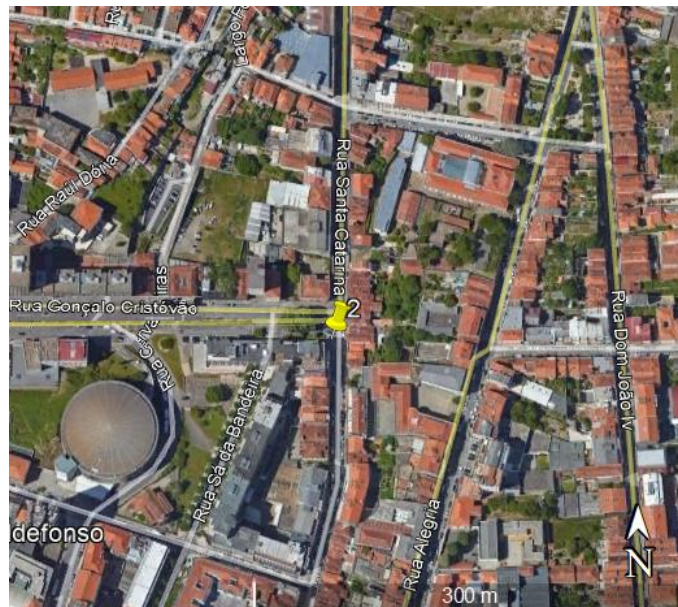


Figura 5.5 - Localização do ponto de medição 2 [adaptado 49].



Figura 5.6 - Medição no ponto 2 com vista para a Rua Santa Catarina [foto do autor].



Figura 5.7 - Medição no ponto 2 com vista para a Rua Gonçalo Cristóvão [foto do autor].

O local onde foi realizada a medição do ruído, trata-se de um entroncamento de três ruas que levam a locais importantes da cidade do Porto (e a todas as suas ruas adjacentes), sendo estes locais, a Praça Marquês de Pombal, a Trindade e o Bolhão. Ao redor do ponto existia circulação rodoviária nas diferentes ruas, sendo que no momento da amostragem se encontrava um trânsito fluído. Encontra-se como paisagem urbanística diferentes edifícios, desde habitações, lojas de conveniência, escritórios entre outros, onde na grande maioria atingiam uma altura de 3 a 4 andares. A Rua de Gonçalo Cristóvão é uma rua larga de dois sentidos, com locais para estacionamento, com passadeiras e semáforos e onde o piso da estrada é constituído por paralelos.

Segundo a planta das condicionantes do Plano Diretor de Municipal [51], o local é uma zona classificada como zona mista.

5.1.1.4. PONTO 3 – PRAÇA DA RÉPUBLICA

O ponto de amostragem 3 situa-se numa das entradas da Praça da República situada na freguesia de Cedofeita. Esta praça contém um jardim, o Jardim Teófilo Braga com diversa arte em forma de esculturas, e com atividade e composição idênticas ao jardim da Praça de Marquês de Pombal, no entanto com dimensões consideravelmente maiores. A recolha de informação foi realizada no lado oeste da praça, na entrada com vista para a Rua de Álvares Cabral (Fig. 5.8, 5.9 e 5.10).

Perto do local da instalação do equipamento de medição, encontra-se um controlo de trânsito por semáforos e uma paragem de autocarros. Ao seu redor, encontra-se uma paisagem urbana típica da cidade do Porto, havendo uma vez mais uma mistura de lojas e supermercados, com habitações próprias e hotéis. É necessário destacar a presença do Quartel de Santo Ovídio. O trânsito presente observado, apresentava um fluxo fluído tanto na rua adjacente à praça como à Rua de Álvares Cabral, no entanto regulado por sinalização luminosa.

Quanto à classificação da zona onde o ponto se encontra, segundo o PDM [51], esta é uma zona mista.



Figura 5.8 - Localização do ponto de medição 3 [adaptado 49].



Figura 5.9 - Medição no ponto 3 com vista para a entrada da praça [foto do autor].



Figura 5.10 - Medição no ponto 3 com vista para a Rua Álvares Cabral [foto do autor].

5.1.1.5. PONTO 4 – CRUZAMENTO DA RUA DA BOAVISTA COM A RUA DE ANÍBAL CUNHA

O ponto 4 deste trabalho localiza-se na Rua da Boavista, que é localizada na freguesia de Cedofeita. Esta é uma rua importante uma vez que liga diretamente a Praça da República à Rotunda da Boavista. A medição foi realizada no cruzamento com a Rua de Aníbal Cunha (antiga Rua da Carvalhosa), junto à Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados da Carvalhosa (Fig. 5.11, 5.12 e 5.13).

Este local é caracterizado pelo trânsito ser realizado num só sentido nas duas ruas adjacentes ao ponto, sendo estas ruas pequenas em largura e cercadas por edificações de 2 a 4 andares. O trânsito que se verificou na altura da medição era inconstante, havendo alturas em que não havia circulação por breves instantes.

Segundo a classificação publicada pelo PDM [51], este ponto é classificado como uma zona mista.



Figura 5.11 - Localização do ponto de medição 4 [adaptado 49].



Figura 5.12 - Medição no ponto 4 com vista para a Rua da Boavista [foto do autor].



Figura 5.13 - Medição no ponto 4 na esquina da Rua da Boavista com a Rua Aníbal Cunha [foto do autor].

5.1.1.6. PONTO 5 – ROTUNDA DA BOAVISTA

A Rotunda da Boavista, oficialmente denominada Praça de Mouzinho de Albuquerque, fica situada na freguesia de Cedofeita e é um dos pontos mais importantes da cidade do Porto, sendo a sua maior praça [53]. O ponto de medição 5 foi realizado na zona este/sudeste da rotunda, com vista para a Rua da Boavista (Fig. 5.14, 5.15 e 5.16).

Esta rotunda tem um tráfego rodoviário muito intenso durante praticamente todo o dia, fazendo ligação a nove ruas diferentes, sendo uma delas a Avenida da Boavista, uma das avenidas mais importantes do Porto e com maior fluxo de veículos. A faixa de rodagem de circulação à volta da rotunda é composta por três vias de trânsito, com controlo do fluxo através de uma sinalização luminosa sucessiva. Ao longo das vias existem diversas passadeiras para travessia de peões construídas em paralelo, que contrasta com

o piso liso de alcatrão do resto da via. No momento da amostragem, o trânsito era fluído, no entanto condicionado pelas constantes obrigações de paragem indicada pelos semáforos.

Quanto à classificação da cidade por zonas, esta zona é definida pelo PDM [51] pela planta de condicionantes como uma zona mista.



Figura 5.14 - Localização do ponto de medição 5 [adaptado 49].



Figura 5.15 - Medição no ponto 5 com vista para a Praça [foto do autor].



Figura 5.16 - Medição no ponto 5 com vista para a Rua da Boavista [foto do autor].

5.1.1.7. PONTO 6 – CAMPO MÁRTIRES DA PÁTRIA

O ponto 6 situa-se no Campo Mártires da Pátria que pertence à freguesia de Miragaia. A amostragem foi realizada junto à atual Reitoria do Porto e antiga porta principal da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Fig. 5.17, 5.18 e 5.19). Aqui encontra-se um dos jardins mais conhecidos do Porto, o Jardim de João Chagas, popularmente denominado por Jardim da Cordoaria, que é conhecido pelo seu jardim verde e pelas estátuas nele presente como a “Treze a rir uns dos outros” entre outras esculturas.

Neste local, houve uma grande alteração da paisagem urbanista nas últimas décadas, uma vez que em 1990, situava-se no local uma via de trânsito rodoviário. Atualmente este local destina-se apenas a passagem de peões e contém ainda, duas linhas de elétrico operacionais para a passagem do mesmo. Com esta configuração da paisagem urbanística, as vias de trânsito rodoviário mais próximas do ponto são consideravelmente afastadas quando em comparação ao resto dos pontos.

Apesar de ser uma zona mais calma, esta situa-se no meio da cidade pelo que há diversas fontes de ruído para além da circulação rodoviária. Em relação à classificação da PDM [51], esta zona está classificada na planta das condicionantes como mista.



Figura 5.17 - Localização do ponto de medição 6 [adaptado 49].



Figura 5.18 - Medição no ponto 6 com vista para a Rua de São Filipe de Nery [foto do autor].



Figura 5.19 - Medição no ponto 6 com vista para o Jardim de João Chagas [foto do autor].

5.1.1.8. PONTO 7 E 8 – JARDIM DE S. LÁZARO

Ambos os pontos 7 e 8 estão localizados nas imediações do Jardim de S. Lázaro em Santo Ildefonso, sendo que uma medição foi realizada na Avenida de Rodrigues de Freitas e outra na esquina entre a Rua D. João IV e o Passeio de S. Lázaro, respetivamente (Fig. 5.20, 5.21 e 5.22). É o jardim mais antigo e um dos mais emblemáticos da cidade, devido à sua beleza e história. Este jardim, similar aos anteriores, é um espaço de lazer para convívio e repouso estando rodeados de vegetação e contando com a presença de um chafariz e um coreto.

Nas redondezas dos pontos de medição, existem diversos edifícios com diferentes funções. Encontra-se por exemplo a Faculdade de Belas Artes, a Biblioteca Municipal do Porto, o Colégio de Nossa Senhora da Esperança entre outros edifícios habitacionais e de serviços.

O ponto 7 localiza-se em frente à entrada sudoeste do Jardim de S. Lázaro, na Avenida de Rodrigues de Freitas com vista direta para a Rua das Fontainhas. Perto do local onde foi instalado o equipamento, encontram-se semáforos com passagens para peões com sinais sonoros. O tráfego analisado era constante, com um grande fluxo, no entanto era controlado através da sinalização rodoviária luminosa.

O ponto 8 encontra-se em frente da outra entrada a nordeste do Jardim de S. Lázaro, no cruzamento da Rua D. João IV com o Passeio de S. Lázaro. Assim como no ponto 7, neste ponto encontra-se um conjunto de semáforos para controlo do tráfego com passadeiras para peões. O trânsito neste local era de sentido único em ambas as ruas e não era constante uma vez que houve breves momentos em que não havia passagem de veículos.

O Plano Diretor Municipal do Porto [51] classifica estas zonas no planta das condicionantes como zonas mistas, no entanto, o ponto 7 encontra-se adjacente a uma zona sensível intitulada de “recolhimento de órfãos” que corresponde ao local onde se encontra o Colégio de Nossa Senhora da Esperança.



Figura 5.20 - Localização dos pontos de medição 7 e 8 [adaptado 49].



Figura 5.21 - Medição no ponto 7 com vista para a entrada sudoeste do jardim [foto do autor].



Figura 5.22 - Medição no ponto 8 com vista para a entrada nordeste do jardim [foto do autor].

5.1.1.9. PONTO 9 – PRAÇA DA LIBERDADE

O ponto 9 encontra-se na Praça da Liberdade, também conhecida como a Avenida dos Aliados e é conhecida como a praça mais importante da cidade do Porto sendo considerada por alguns como o coração do Porto e que esta faz uma ligação entre o antigo e o moderno da cidade sendo um dos maiores pontos turísticos [54] (Fig. 5.23, 5.24 e 5.25). Nesta praça encontra no ponto mais alto e centrado a Câmara Municipal do Porto, e ao longo da praça encontra-se diferentes sedes de entidades nacionais como o Banco de Portugal.



Figura 5.23 - Localização do ponto de medição 9 [adaptado 49].

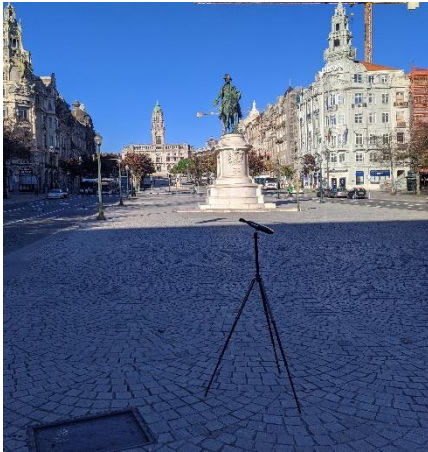


Figura 5.24 - Medição no ponto 9 com vista para a Câmara Municipal do Porto [foto do autor].



Figura 5.25 - Medição no ponto 9 com vista para a Rua dos Clérigos [foto do autor].

Ao longo das últimas três décadas esta praça foi alvo de diversas alterações, nomeadamente em 2005, em que foram eliminados os diversos canteiros espalhados pela praça e o piso substituído por cubos de granito escuro pelos arquitetos Siza Vieira e Souto Moura [55]. Para além da praça em si, as vias foram também substituídas pelo mesmo tipo de cubos e foram instalados diversos semáforos com passagem para peões, que como em toda a cidade, emitem pequenos sinais sonoros.

Segundo a classificação por zonas do PDM [51], presente na planta de condicionantes da cidade, esta zona é considerada como uma zona mista.

5.2. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA CIDADE DO PORTO EM 30 ANOS

5.2.1. RESULTADOS OBTIDOS EM 2020

Apresenta-se no Quadro 5.3 os resultados obtidos e a sua representação gráfica na Fig. 5.26. São apresentadas diferentes condições durante as medições de cada ponto, como a hora e a duração da medição. Para além disso, é ainda apresentado um quinto parâmetro, o ΔL_A em dB (Expressão 5.1), que demonstra o resultado da diferença entre os ruídos com um nível sonoro excedido em 10% do tempo e os ruídos com o nível sonoro excedido em 90% do tempo representando assim o acréscimo “incomodativo” sobre o “ruído de fundo” [56].

$$\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90} \quad (5.1)$$

Alguns dos pontos observados apresentam uma duração de medição ligeiramente superior à grande maioria (≈ 15 min). Este aumento foi propositado e com o objetivo de atenuar o efeito do aparecimento de emissões sonoras fortes (buzina de automóveis) perto do fim da medição os quais destabilizavam os valores de L_{Aeq} .

Quadro 5.3 - Níveis de ruído obtidos em 2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto ($\Delta L_A = L_{A10} - L_{A90}$).

Ponto	Local	Dia	Hora	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
					L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	ΔL_A
1	Praça Marquês de Pombal	11/11/2020	16h41	20:01	68,8	71,5	66,5	61,0	10,5
2	Rua Santa Catarina	11/11/2020	17h20	15:02	66,7	69,0	65,5	61,5	7,5
3	Praça da República	13/11/2020	15h03	16:02	65,2	68,0	62,5	58,5	9,5
4	Rua da Boavista	13/11/2020	15h38	17:04	69,1	72,0	65,0	59,0	13,0
5	Rotunda da Boavista	13/11/2020	16h15	15:14	66,1	68,0	64,0	61,0	7,0
6	Campo Mártires da Pátria	17/11/2020	15h42	15:27	61,1	61,0	57,0	53,0	8,0
7	Rua Rodrigues de Freitas	17/11/2020	16h19	15:08	69,2	72,0	68,0	60,5	11,5
8	Rua D.João IV	17/11/2020	16h53	15:03	67,6	69,0	64,5	61,0	8,0
9	Praça da Liberdade	17/11/2020	17h11	16:19	68,0	71,0	66,0	60,0	11,0

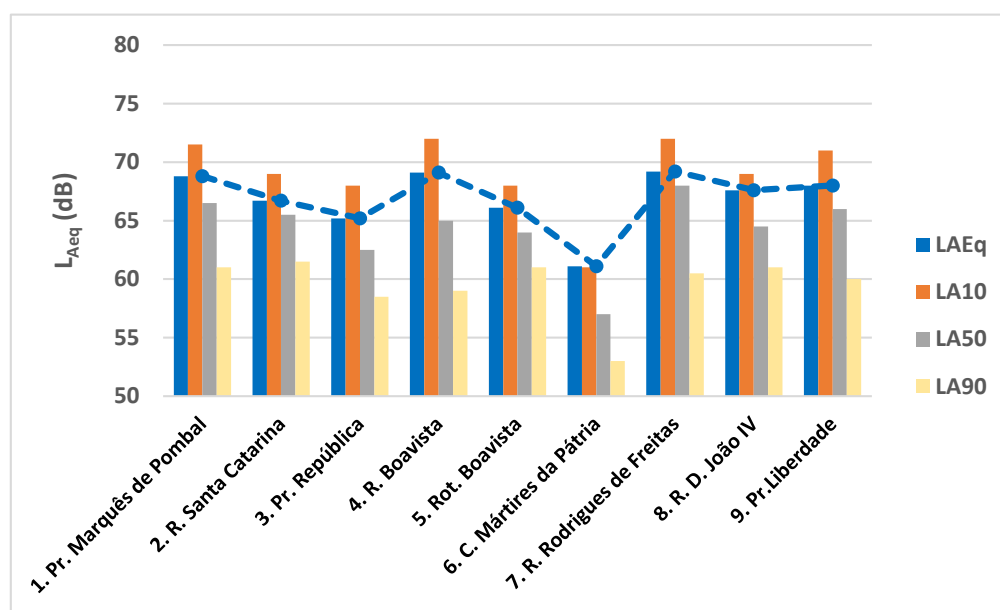


Figura 5.26 - Valores das medições de ruído nos nove pontos da cidade do Porto em 2020.

Os pontos com um nível sonoro médio superior são os pontos 4 e 7 e ponto com o valor mais inferior é o ponto 6. Ambos os pontos 4 e 7 são ruas muito movimentadas pelo que o ruído proveniente do tráfego rodoviário é a principal causa dos valores apresentados. Nestes pontos foram calculados valores de “incomodidade” sobre o ruído de fundo (ΔL_A) de 13,0 e 11,5 dB, respetivamente. Tal como verificado no L_{Aeq} , estes são os valores superiores dos nove pontos. Quanto ao ponto 6 (Campo Mártires da Pátria), este é o que apresenta valores mais baixos nos parâmetros estudados e dos mais baixos do ΔL_A calculado.

Fazendo uma análise aos resultados presentes no quadro 5.3 e figura 5.26, consegue-se discutir alguns resultados, assim como os pontos que são o mais e o menos ruidoso e a dedução das causas dos mesmos.

Tal como analisado anteriormente, fazendo uma comparação aos valores de L_{Aeq} entre os diferentes pontos, constata-se que o local mais ruidoso é na Avenida Rodrigues de Freitas (ponto 7) com 69,2 dB e o mais sossegado é no Campo Mártires da Pátria (ponto 6) com 61,1 dB. Com base na análise visual realizada *in situ* durante as medições, é de fácil percepção o porquê destes pontos obterem estes valores. O ponto 7 é um local com um tráfego rodoviário com um grande fluxo tratando-se de uma faixa rodoviária com cinco vias de trânsito. Para além do número de vias, o ponto exato da medição encontrava-se num cruzamento com a Rua das Fontainhas, a qual trazia um fluxo extra à rua principal. Para além destes aspetos, no local ainda há lugares para estacionamento e uma paragem de autocarros. Em adição aos autocarros próprios da cidade e do município, perto do ponto de amostragem, existe uma estação de camionetas de longas viagens, as quais por vezes passam naquele local. Quanto ao ponto 6, este é um ponto ligeiramente diferente dos restantes uma vez que não tem nenhuma via circulação rodoviária tão perto como nos outros locais. Esta diferença é devido ao facto de que, em 1990 existia uma via a passar no local da medição, no entanto, entretanto a mesma foi eliminada e agora serve apenas para peões. Perto do ponto de medição passa ainda duas linhas de elétrico sendo que a maior fonte de ruído neste local é a passagem deste veículo que não é constante, passando apenas entre grandes intervalos de tempo. A envolvente deste ponto é sossegada uma vez que de um lado é coberto pela Reitoria da Universidade do Porto e do outro pelo Jardim da Cordoaria, um jardim de lazer e repouso.

Por análise aos quatro parâmetros estudados (L_{Aeq} , L_{10} , L_{50} e L_{90}) confirma-se que o ponto 7 (R. Rodrigues de Freitas) é o mais ruidoso e que o ponto 6 (Campo Mártires da Pátria) é o mais silencioso uma vez que estes dois pontos apresentam os valores máximos e mínimos (respetivamente) em todos os quatro parâmetros.

Considerando o ponto 6 como um ponto sem ruído proveniente diretamente do tráfego automóvel, pode-se fazer uma comparação da diferença de ruído deste ponto com os restantes (Quadro 5.4) em que o ruído emitido pelos automóveis é bastante presente e influenciador dos valores.

Quadro 5.4 - Valores do aumento do nível sonoro (ΔL_A) em dB(A) em cada ponto face ao L_{AN} do ponto 6, representativos da influência do ruído proveniente do tráfego automóvel em 2020.

Ponto	1	2	3	4	5	7	8	9	Média Aritmética
ΔL_{Aeq} face ao L_{Aeq} do ponto 6	7,7	5,6	4,1	8,0	5,0	8,1	6,5	6,9	6,5
ΔL_{A10} face ao L_{A10} do ponto 6	10,5	8,0	7,0	11,0	7,0	11,0	8,0	10,0	9,1
ΔL_{A50} face ao L_{A50} do ponto 6	9,5	8,5	5,5	8,0	7,0	11,0	7,5	9,0	8,3
ΔL_{A90} face ao L_{A90} do ponto 6	8,0	8,5	5,5	6,0	8,0	7,5	8,0	7,0	7,3

Com esta comparação da diferença de ruídos entre os pontos estudados e o ponto 6, verifica-se que o ponto com valores de ruído mais próximos do ponto 6 é o ponto 3 (Praça da República). Os valores médios do aumento do nível sonoro são todos superiores a 6,0 dB, chegando até 9,1 dB, o que significa que em média, os pontos estudados apresentam um ruído (ruído tráfego rodoviário) superior ao dobro do ruído existente no ponto 6.

Conclui-se com esta análise que o tráfego rodoviário na cidade é potenciador de valores elevados de níveis sonoros e que a limitação da passagem de veículos por ruas da cidade pode ser útil na redução ao ruído citadino, podendo reduzir em cerca de 9 dB(A) o ruído ambiente em algumas ruas.

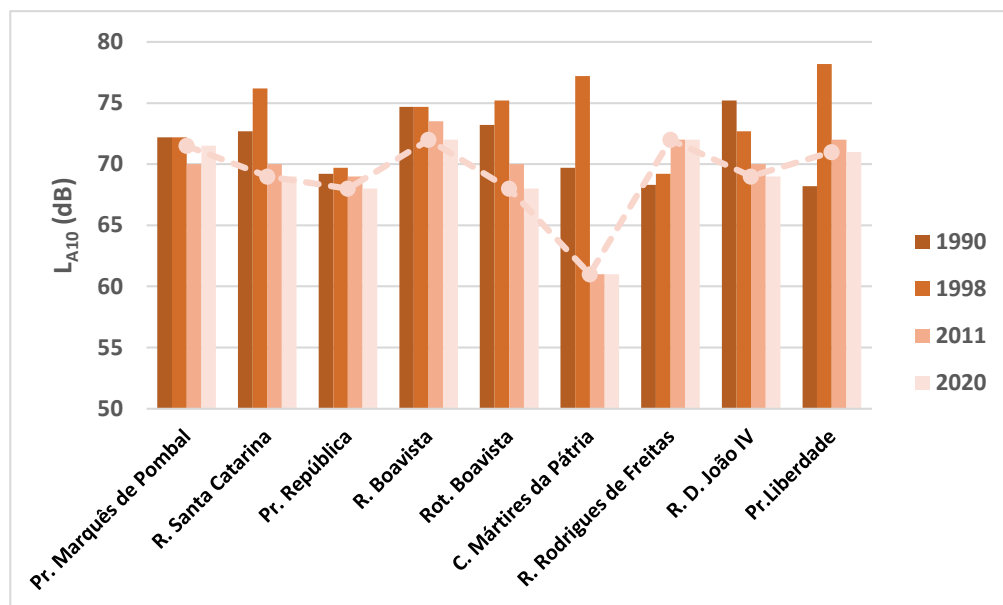
5.2.2. COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE ANOS ANTERIORES (1990 / 1998 / 2011)

Sendo um dos objetivos desta dissertação a análise à evolução nas últimas décadas, apresenta-se neste subcapítulo os dados de ruído registados nos anos de 1990, 1998 e 2011 cedidos pelo Laboratório de Acústica, e a comparação dos mesmos com os obtidos neste ano (2020) para o presente tema.

Os dados registados para cada parâmetro são comparados lado a lado em tabela e em gráficos de forma a haver uma melhor perceção da sua evolução e respetivas diferenças. Nas seguintes tabelas está ainda presente uma variação do L_{AN} que compara o ano de 2020 com todos os anos anteriores de forma a identificar-se numericamente a evolução.

Quadro 5.5 - Valores obtidos para L_{A10} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.

Ponto	Local	Parâmetro (dB)						
		L_{A10}				ΔL_{A10}		
		1990	1998	2011	2020	L2020-L1990	L2020-L1998	L2020-L2011
1	Praça Marquês de Pombal	72,2	72,2	70,0	71,5	-0,7	-0,7	1,5
2	Rua Santa Catarina	72,7	76,2	70,0	69,0	-3,7	-7,2	-1,0
3	Praça da República	69,2	69,7	69,0	68,0	-1,2	-1,7	-1,0
4	Rua da Boavista	74,7	74,7	73,5	72,0	-2,7	-2,7	-1,5
5	Rotunda da Boavista	73,2	75,2	70,0	68,0	-5,2	-7,2	-2,0
6	Campo Mártires da Pátria	69,7	77,2	61,0	61,0	-8,7	-16,2	0,0
7	Rua Rodrigues de Freitas	68,3	69,2	72,0	72,0	3,7	2,8	0,0
8	Rua D. João IV	75,2	72,7	70,0	69,0	-6,2	-3,7	-1,0
9	Praça da Liberdade	68,2	78,2	72,0	71,0	2,8	-7,2	-1,0
	Média Aritmética	71,5	73,9	69,7	69,1	-2,4	-4,9	-0,7

Figura 5.27 – Valores de L_{A10} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.Quadro 5.6 - Valores obtidos para L_{A50} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.

Ponto	Local	Parâmetro (dB)						
		L_{A50}				ΔL_{A50}		
		1990	1998	2011	2020	L2020-L1990	L2020-L1998	L2020-L2011
1	Praça Marquês de Pombal	66,2	66,7	65,5	66,5	0,3	-0,2	1,0
2	Rua Santa Catarina	68,2	69,2	65,0	65,5	-2,7	-3,7	0,5
3	Praça da República	64,2	65,2	64,0	62,5	-1,7	-2,7	-1,5
4	Rua da Boavista	68,7	71,2	69,0	65,0	-3,7	-6,2	-4,0
5	Rotunda da Boavista	68,2	70,2	65,0	64,0	-4,2	-6,2	-1,0
6	Campo Mártires da Pátria	66,2	69,7	58,0	57,0	-9,2	-12,7	-1,0
7	Rua Rodrigues de Freitas	64,2	65,2	66,0	68,0	3,8	2,8	2,0
8	Rua D. João IV	68,7	69,2	65,0	64,5	-4,2	-4,7	-0,5
9	Praça da Liberdade	64,2	71,7	68,5	66,0	1,8	-5,7	-2,5
	Média Aritmética	66,5	68,7	65,1	64,3	-2,2	-4,4	-0,8

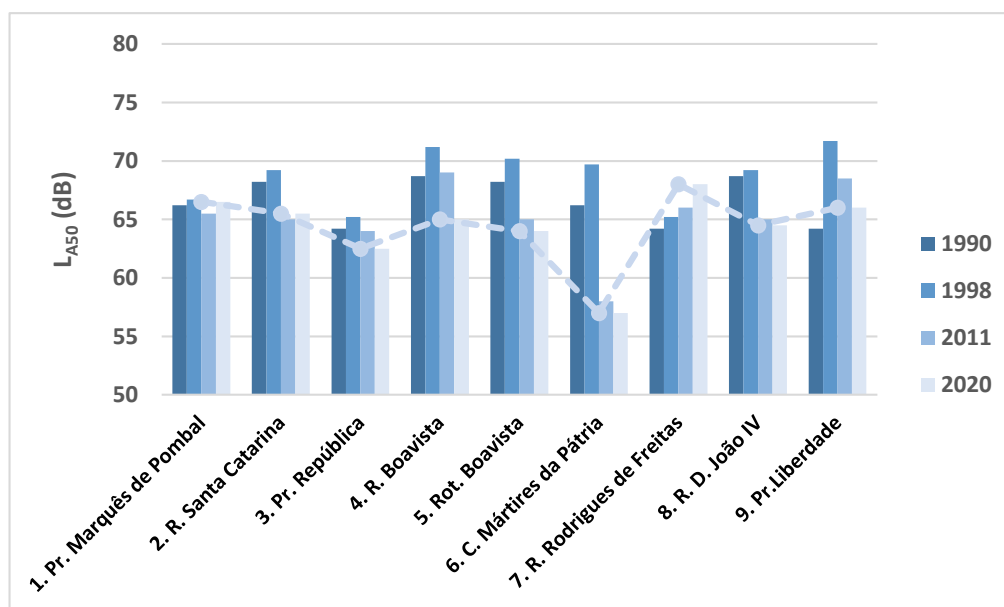


Figura 5.28 - Valores de L_{A50} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.

Quadro 5.7 - Valores obtidos para L_{A90} para os nove lugares de medição nos anos 1990, 1998, 2011 e 2020 e a sua variação.

Ponto	Local	Parâmetro (dB)						
		L_{A90}				ΔL_{A90}		
		1990	1998	2011	2020	L2020-L1990	L2020-L1998	L2020-L2011
1	Praça Marquês de Pombal	62,2	63,7	61,5	61,0	-1,2	-2,7	-0,5
2	Rua Santa Catarina	63,7	60,2	61,5	61,5	-2,2	1,3	0,0
3	Praça da República	62,2	63,7	60,5	58,5	-3,7	-5,2	-2,0
4	Rua da Boavista	60,7	68,2	63,5	59,0	-1,7	-9,2	-4,5
5	Rotunda da Boavista	66,7	67,7	61,5	61,0	-5,7	-6,7	-0,5
6	Campo Mártires da Pátria	64,2	60,2	55,0	53,0	-11,2	-7,2	-2,0
7	Rua Rodrigues de Freitas	60,2	58,2	61,0	60,5	0,3	2,3	-0,5
8	Rua D. João IV	60,2	66,2	59,5	61,0	0,8	-5,2	1,5
9	Praça da Liberdade	60,7	68,2	64,5	60,0	-0,7	-8,2	-4,5
Média Aritmética		62,3	64,0	60,9	59,5	-2,8	-4,5	-1,4

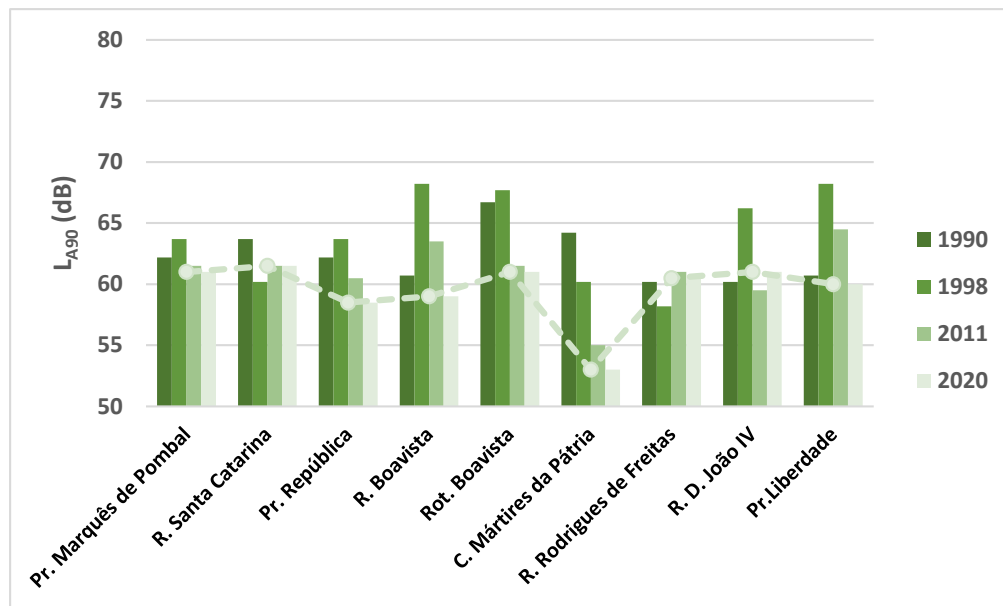


Figura 5.29 - Valores de L_{A90} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.

Em adição aos três parâmetros que foram apresentados segue-se a comparação do parâmetro energético, o L_{Aeq} (Quadro 5.8) (Fig. 5.30 e 5.31). Em 1990 este parâmetro não foi registado, pelo que foi necessário recorrer à realização de uma estimativa. No estudo de 2011 [56] foi escrita uma regressão estatística com os nove conjuntos de valores medidos através do programa de análise estatística “Systat”, onde foi obtido um modelo geral linear (com $R^2=0,97$) (Expressão 5.2). Com recurso ao modelo, obteve-se os valores estimados de L_{Aeq} para 1990. A previsão que é apresentada tem um erro-padrão de 0,5 dB(A).

$$L_{Aeq} = -0,21729 + 0,83715 L_{A10} - 0,04491 L_{A50} + 0,20099 L_{A90} \quad (5.2)$$

Quadro 5.8 - Valores obtidos para L_{Aeq} para os nove lugares de medição nos anos 1998, 2011 e 2020 e a sua evolução. Valores de 1990 estimados através de um modelo geral linear.

Ponto	Local	Parâmetro (dB)						
		L_{Aeq}				ΔL_{Aeq}		
		1990	1998	2011	2020	L2020-L1990	L2020-L1998	L2020-L2011
1	Praça Marquês de Pombal	69,8	68,6	68,9	68,8	-1,0	0,2	-0,1
2	Rua Santa Catarina	70,4	72,7	67,5	66,7	-3,7	-6,0	-0,8
3	Praça da República	67,3	66,1	66,8	65,2	-2,1	-0,9	-1,6
4	Rua da Boavista	71,4	72,1	71	69,1	-2,3	-3,0	-1,9
5	Rotunda da Boavista	71,4	72,1	67,8	66,1	-5,3	-6,0	-1,7
6	Campo Mártires da Pátria	68,1	74,5	59,2	61,1	-7,0	-13,4	1,9
7	Rua Rodrigues de Freitas	66,2	66,3	69,2	69,2	3,0	2,9	0,0
8	Rua D.João IV	71,8	70,6	67,3	67,6	-4,2	-3,0	0,3
9	Praça da Liberdade	66,2	73,5	69,6	68,0	1,8	-5,5	-1,6
Média Aritmética		69,2	70,7	67,5	66,9	-2,3	-3,8	-0,6

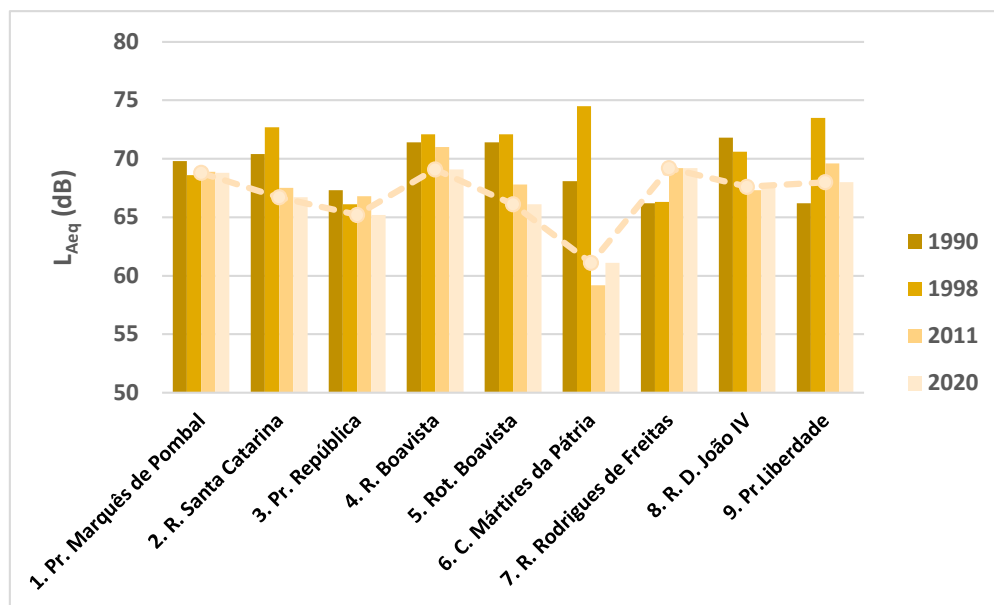


Figura 5.30 - Valores de L_{Aeq} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.

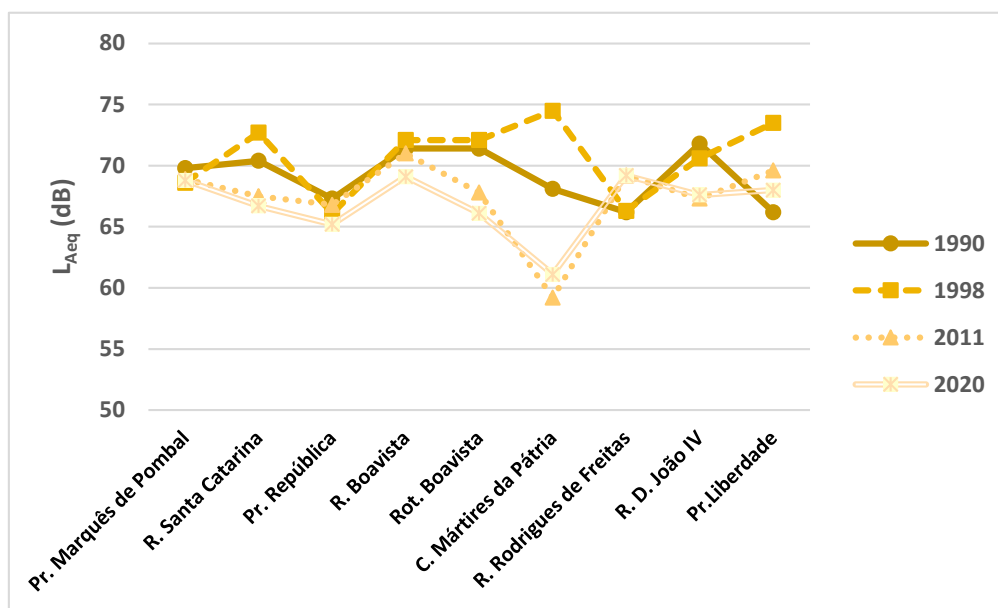


Figura 5.31 - Valores de L_{Aeq} dos anos 1990, 1998, 2011 e 2020.

5.2.3. EVOLUÇÃO DO RUÍDO NA CIDADE DO PORTO ENTRE 1990 E 2020

Um dos principais objetivos desta dissertação é perceber a evolução do ruído nas últimas três décadas na cidade do Porto. Para o efeito, analisaram-se os valores de ruído obtidos para os diferentes parâmetros nos anos em estudo.

Analisando os valores de L_{Aeq} (Quadro 5.8) (Fig. 5.30 e 5.31) consegue-se verificar uma grande diferença nos valores ao longo dos anos. Em 1990, com os valores determinados através da estimativa consegue-se entender a preocupação da comunidade uma vez que, os valores são consideravelmente altos, sendo que o menor valor chega a 66,2 dB (pontos 7 e 9). Em 1998 nota-se um aumento de ruído

na maior parte dos pontos estudados, sendo que seria de esperar com a modernização na cidade, uma vez que se tinham iniciado as obras do Porto 2001. Treze anos depois, em 2011, observa-se no geral uma diminuição do ruído, no entanto, em alguns pontos o ruído manteve-se ou subiu ligeiramente. Em 2020, a evolução do ruído fez-se num panorama idêntico ao ocorrido na evolução de 1998 para 2011. Na grande maioria dos pontos, o ruído diminuiu, no entanto, alguns pontos mantiveram-se praticamente iguais. Ao analisar e comparar a média aritmética do ruído geral para cada ano, consegue-se entender que o ruído, a partir de 1998, tem tendência para diminuir, sendo que de 1998 para 2020 houve uma diferença de ruído médio de 3,8 dB, o que significa que houve uma diminuição energética de ruído em mais de metade.

Utilizando a previsão linear do *Excel*, consegue-se estimar um valor de nível sonoro previsto a ser observável em 2030 para cada parâmetro (Fig. 5.32, 5.33, 5.34, 5.35) (Quadro 5.9). Como se pode analisar nas figuras e quadro, devido à evolução do ruído médio ao longo dos anos, em 2030 prevê-se um nível sonoro ainda menor que o de 2020. No entanto, esta previsão é um pouco rudimentar, uma vez que a amostra de informação que se utiliza é de pequena dimensão, no entanto serve para dar uma ideia de como o ruído pode evoluir.

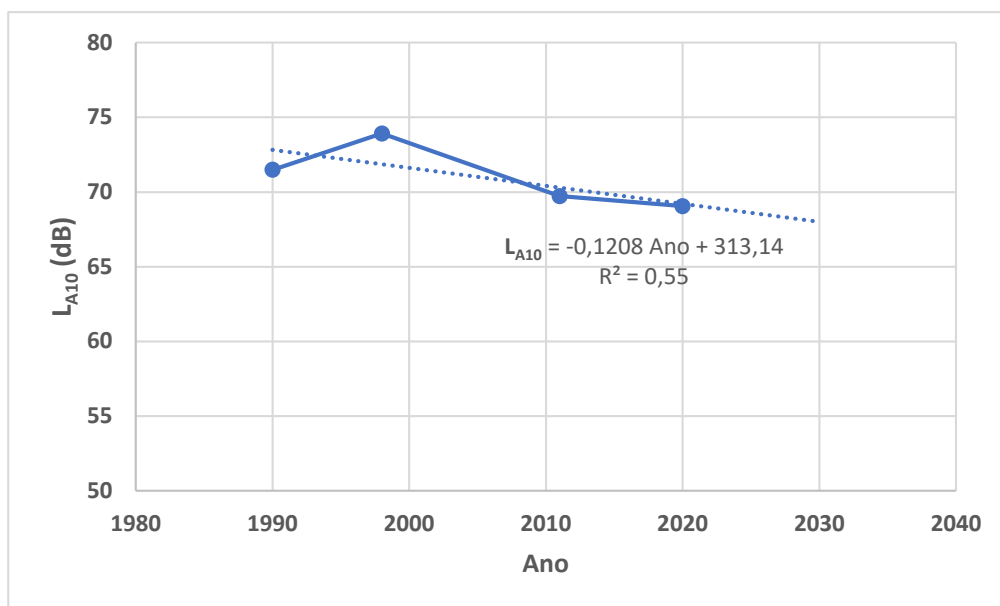


Figura 5.32 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A10}) previsível para 2030.

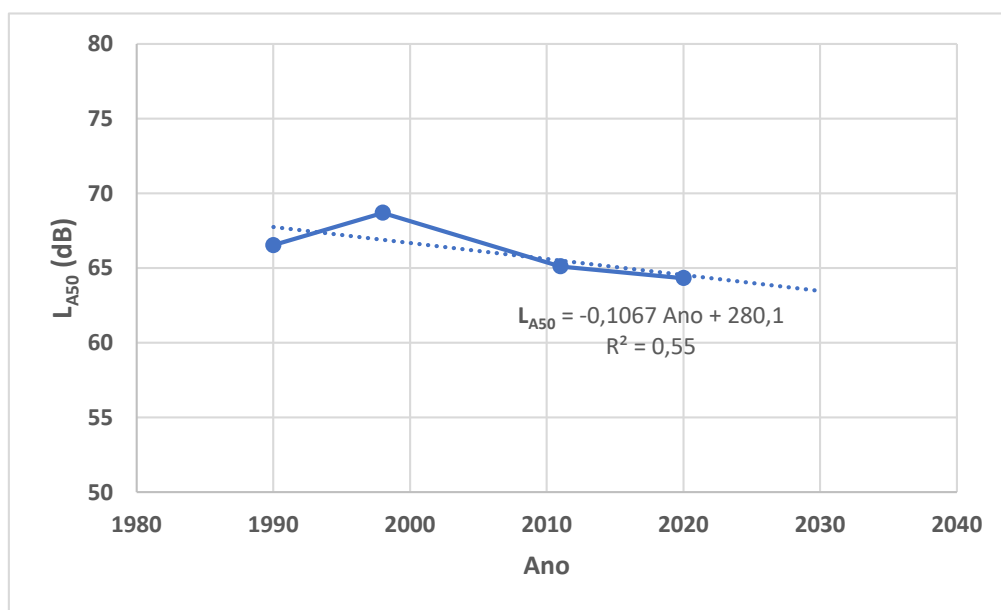


Figura 5.33 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A50}) previsível para 2030.

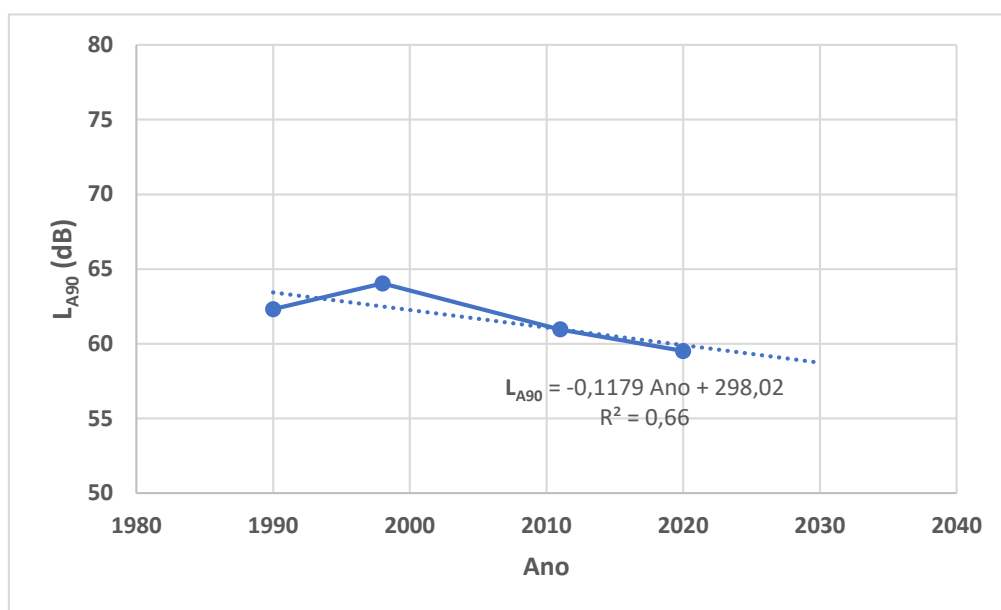


Figura 5.34 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A90}) previsível para 2030.

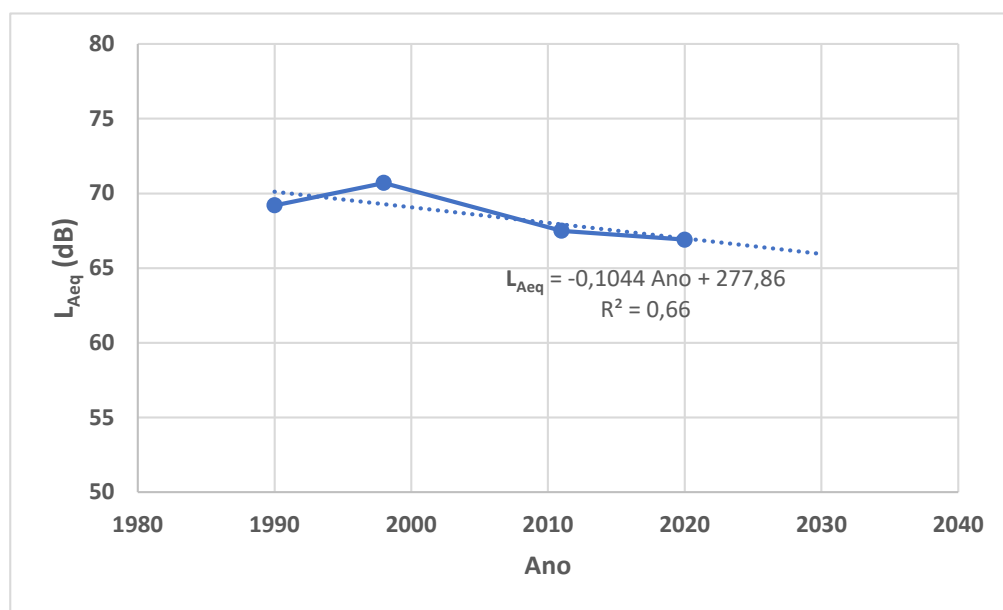


Figura 5.35 - Projeção linear para a determinação do valor do nível sonoro (L_{A90}) previsível para 2030.

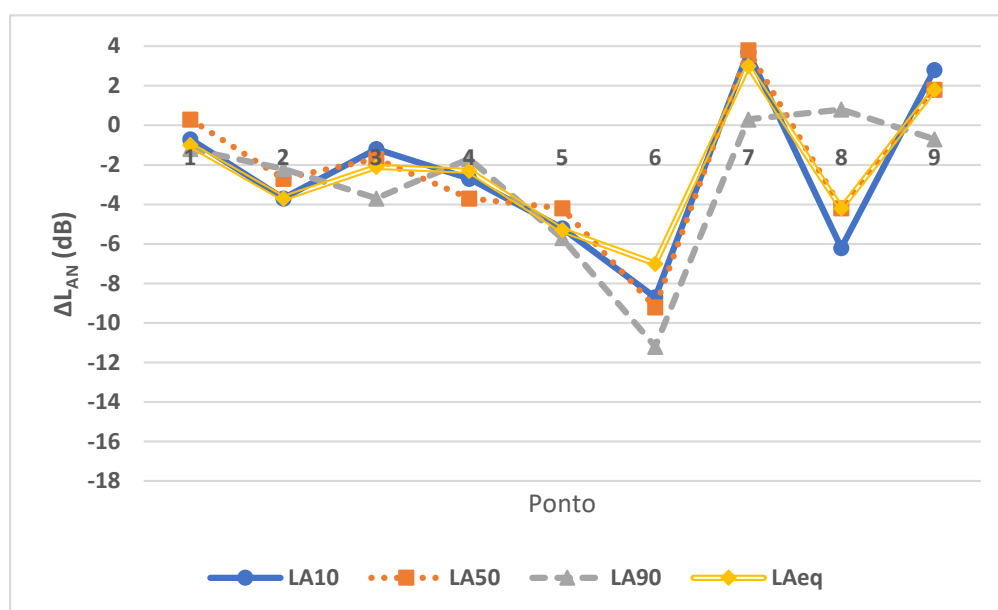
Quadro 5.9 - Valores dos níveis sonoros previsíveis para 2030 e a diferença com os valores de 2020.

	2030 (previsto)	$\Delta L_{2030-2020}$
L_{A10} dB	67,9	-1,1
L_{A50} dB	63,5	-0,8
L_{A90} dB	58,7	-0,8
L_{Aeq} dB	65,9	-1,0

Analisando a variação dos níveis sonoros entre 1990 e 2020 (Quadro 5.10) (Fig. 5.36) pode-se observar que os diferentes parâmetros têm a mesma tendência em cada ponto. Através da leitura dos valores na quadro, percebe-se que o ponto 7 é um dos pontos em que a diferença entre 2020 e 1990 é positiva uma vez que os valores dos níveis sonoros nesse ponto subiram entre esses anos. O mesmo se observa para o ponto 9 em que os valores subiram todos, menos para o parâmetro L_{A90} . Por observação direta da figura entende-se que no geral, o ruído na cidade do Porto diminuiu nestes trinta anos menos em dois pontos nos quais é observável um aumento. No entanto este aumento nestes pontos na comparação entre 2020 e 1990 não indica obrigatoriamente que o ponto 7 e 9 tenham vindo sempre a crescer com o tempo. Para observar a evolução da variação destes pontos ao longo do tempo recorreu-se então aos mesmos cálculos para a variação dos níveis sonoros entre 2020 e 1998 e entre 2020 e 2011 (Quadros 5.11 e 5.12) (Fig. 5.37 e 5.38).

Quadro 5.10 - Variação dos níveis sonoros em 30 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1990}$) para os nove locais de medição.

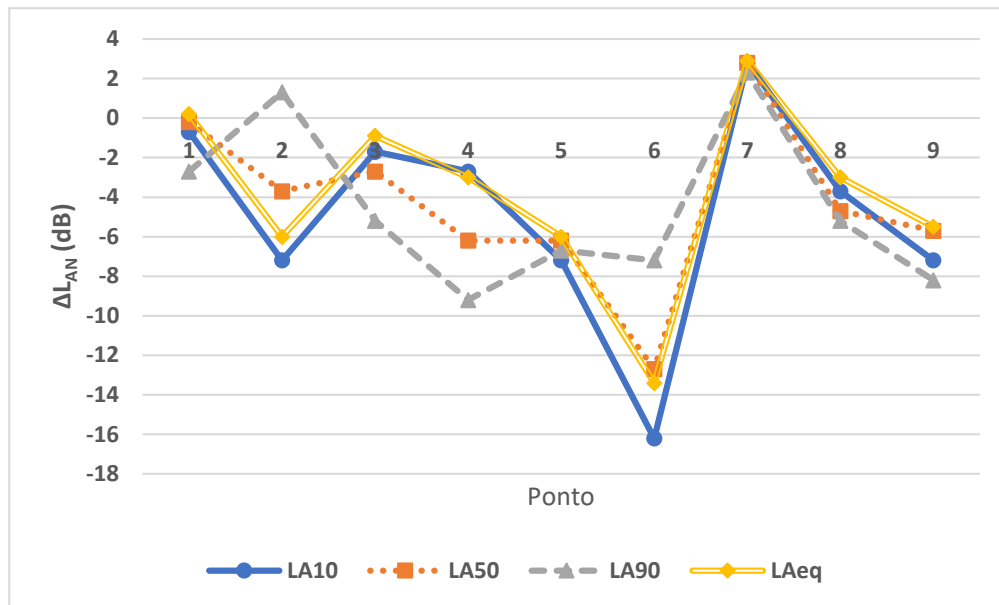
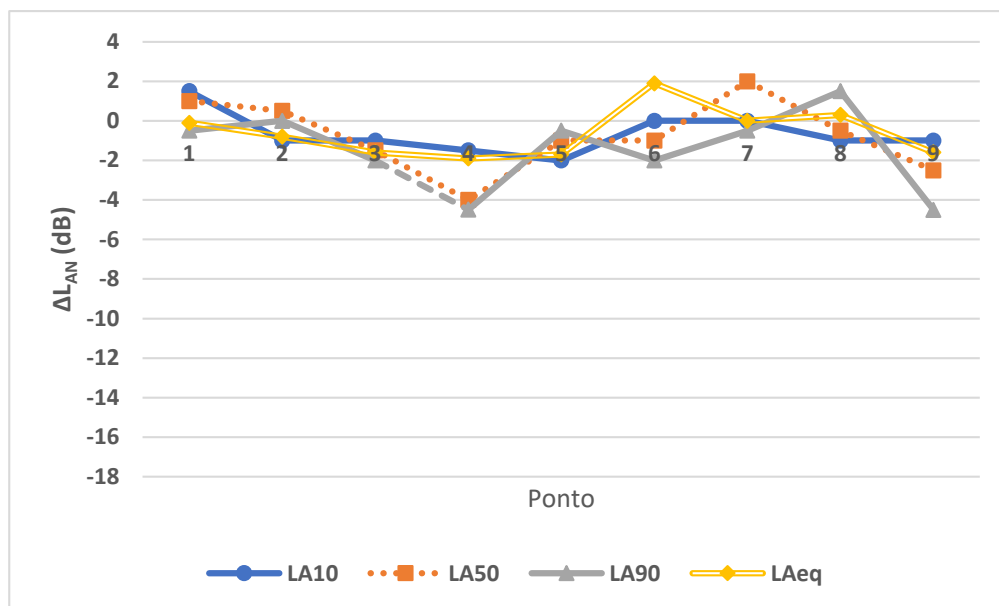
Parâmetro (dB)	Ponto									Média Aritmética
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L _{A10}	-0,7	-3,7	-1,2	-2,7	-5,2	-8,7	3,7	-6,2	2,8	-2,4
L _{A50}	0,3	-2,7	-1,7	-3,7	-4,2	-9,2	3,8	-4,2	1,8	-2,2
L _{A90}	-1,2	-2,2	-3,7	-1,7	-5,7	-11,2	0,3	0,8	-0,7	-2,8
L _{Aeq}	-1,0	-3,7	-2,1	-2,3	-5,3	-7,0	3,0	-4,2	1,8	-2,3

Figura 5.36 - Variação dos níveis sonoros em 30 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1990}$) para os nove locais de medição.Quadro 5.11 - Variação dos níveis sonoros em 22 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1998}$) para os nove locais de medição.

Parâmetro (dB)	Ponto									Média Aritmética
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L _{A10}	-0,7	-7,2	-1,7	-2,7	-7,2	-16,2	2,8	-3,7	-7,2	-4,9
L _{A50}	-0,2	-3,7	-2,7	-6,2	-6,2	-12,7	2,8	-4,7	-5,7	-4,4
L _{A90}	-2,7	1,3	-5,2	-9,2	-6,7	-7,2	2,3	-5,2	-8,2	-4,5
L _{Aeq}	0,2	-6,0	-0,9	-3,0	-6,0	-13,4	2,9	-3,0	-5,5	-3,9

Quadro 5.12 - Variação dos níveis sonoros em 9 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A2011}$) para os nove locais de medição.

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

Figura 5.37 - Variação dos níveis sonoros em 22 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A1998}$) para os nove locais de medição.Figura 5.38 - Variação dos níveis sonoros em 9 anos ($\Delta L_A = \Delta L_{A2020} - \Delta L_{A2011}$) para os nove locais de medição.

Na comparação entre o ano 2020 e 1990 é observável uma variação positiva no ponto 7 e ponto 9, mostrando que houve um aumento do nível sonoro. No entanto a partir de 1998, estes dois pontos tiveram uma evolução diferente. O ponto 7 teve uma evolução crescente, sendo que em 2020 é o ano em que este ponto tem um nível sonoro equivalente mais alto. Já o ponto 9, este ponto em 1998 teve um acréscimo de nível bastante considerável (+7,3 dB(A)) no entanto o mesmo foi baixando em 2011 e em 2020 fazendo com que a variação dos níveis ficasse negativa. Na comparação entre 2020 e 2011 observa-se que a variação em todos os pontos não é de grande dimensão o que significa que, apesar de o ruído ter vindo a descer em função do tempo, o mesmo está a fazê-lo a uma velocidade reduzida uma vez que em nove anos o máximo que foi reduzido em relação a L_{Aeq} na cidade foi de 1,9 dB em um único ponto e que a média da variação nesta década foi de apenas -0,6 dB(A).

5.3 O RUÍDO NO “SILÊNCIO” DA CIDADE DO PORTO

5.3.1. INTRODUÇÃO

O ano de 2020 foi marcado pela declaração de pandemia pela OMS devido ao vírus Sars-Cov-19. A preocupação do país face ao perigo deste vírus, fez com que o mesmo tomasse medidas de confinamento e restrição ao longo do ano. De forma a adaptar esta dissertação à situação do país, foram realizadas medições de ruído num fim de semana no qual havia restrições de circulação entre concelhos e um recolher obrigatório a partir das 13 h de cada dia do fim de semana. Com estas medições foi possível medir o ruído citadino quase no auge do seu “silêncio” uma vez que tanto a circulação de pedestres como a circulação rodoviária eram reduzidas, sendo em alguns casos nulas.

Foram então realizadas medições de ruído no dia 21 de novembro de 2020 nos nove locais definidos para o estudo anterior de forma a ser possível uma comparação do ruído existente em dias normais na cidade com o ruído observado em dias de confinamento.

5.3.2. RESULTADOS

À semelhança do realizado anteriormente no subcapítulo 5.2.1, apresenta-se nos Quadros 5.13 e 5.14 e Fig.5.39 os resultados obtidos a partir das medições. São apresentadas as horas a que cada medição foi realizada assim como a duração de cada uma.

O tempo de medição nestes pontos foi mais reduzido em comparação com os do estudo anterior. Optou-se por um tempo de amostragem menor devido a tratar-se de um meio em condições com reduzidas fontes de ruído, levando assim a que os valores dos níveis sonoros estabilizassem mais rapidamente.

Quadro 5.13 – Valores dos níveis sonoros obtidos em 21/11/2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h.

Ponto	Local	Hora	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
				L _{Aeq}	L _{A10}	L _{A50}	L _{A90}	ΔL_A^*
1	Praça Marquês de Pombal	16h03	5:33	62,3	66,0	56,5	51,5	14,5
2	Rua Santa Catarina	14h12	5:09	60,5	64,0	58,0	50,5	13,5
3	Praça da República	16h32	5:40	59,0	60,5	54,5	50,0	10,5
4	Rua da Boavista	16h48	6:40	64,4	65,0	53,0	47,0	18,0
5	Rotunda da Boavista	17h04	5:31	61,2	64,5	58,5	53,0	11,5
6	Campo Mártires da Pátria	14h39	5:10	50,7	53,5	49,5	44,5	9,0
7	Rua Rodrigues de Freitas	15h13	5:09	60,6	64,5	56,0	45,5	19,0
8	Rua D.João IV	15h30	5:07	62,7	66,5	56,5	48,5	18,0
9	Praça da Liberdade	14h52	5:16	64,1	68,5	59,5	51,5	17,0

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

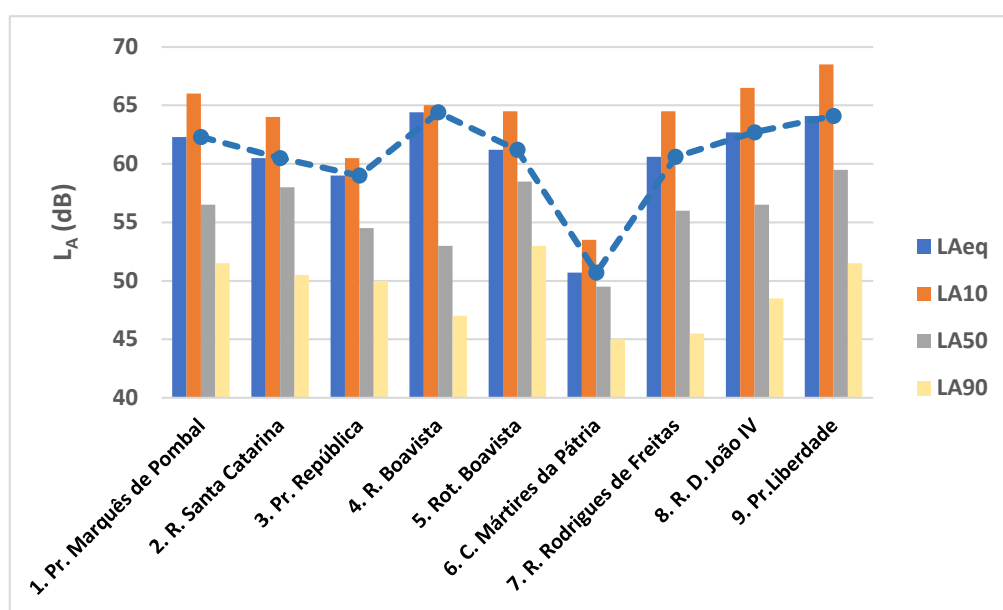


Figura 5.39 - Valores dos níveis sonoros obtidos em 21/11/2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h.

Através dos resultados apresentados no Quadro 5.13 e Fig. 5.39, foi possível fazer uma análise e discussão dos mesmos.

Inicialmente, logo após o registo dos valores apresentados, foi realizada uma análise à diferença entre o nível sonoro em dia normal e em dia de confinamento (Quadro 5.14).

Quadro 5.14 - Diferença de valores de níveis sonoros equivalentes entre dia “normal” e dia de confinamento ($\Delta L_{Aeq\text{ silêncio}} = L_{Aeq\text{ normal}} - L_{Aeq\text{ confinamento}}$).

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Aritmética
$L_{Aeq\text{ normal}}$	68,8	66,7	65,2	69,1	66,1	61,1	69,2	67,6	68,0	66,9
$L_{Aeq\text{ confinamento}}$	62,3	60,5	59,0	64,4	61,2	50,7	60,6	62,7	64,1	60,6
$\Delta L_{Aeq\text{ silêncio}}\text{ (dB)}$	6,5	6,2	6,2	4,7	4,9	10,4	8,6	4,9	3,9	6,3

Quadro 5.15 - Valores de ruído obtidos na repetição das medições dos pontos 6 e 9 em dia de confinamento (22 de novembro de 2020).

Ponto	Local	Hora	Duração (min.)	Parâmetro (dB)				
				L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	ΔL_A
6	Campo Mártires da Pátria	14h51	6:03	50,8	54,5	47,5	44	10,5
9	Praça da Liberdade	15h06	5:49	61,6	66	58,5	52,5	13,5

Através deste cálculo, notam-se em dois pontos que sobressaem por valores distintos do resto, sendo um comparativamente superior e outro inferior. O ponto 6 apresenta uma diferença de 10,4 dB(A) e o ponto 9 uma diferença de 3,9 dB(A), sendo que em média, a diferença verificada é de aproximadamente 6 dB(A). De forma a verificar se estes valores apresentam valores válidos, um dia depois (dia 22 de novembro de 2020), foram realizadas repetições das medições nestes dois pontos obtendo-se os valores apresentados no Quadro 5.15.

Nesta segunda medição, obteve-se para os pontos 6 e 9, valores de L_{Aeq} de 50,8 e 61,6 dB, respetivamente. Ora comparando com os valores da primeira medição, no ponto 6 não se verifica uma alteração significativa, sendo que na primeira medição obteve-se um valor de 50,7 dB, dando uma diferença de apenas 0,1 dB. Já no ponto 9 obteve-se uma diferença considerável uma vez que na primeira medição obteve-se um valor de L_{Aeq} de 64,1 dB, observando-se assim uma diminuição de ruído de 2,5 dB na segunda medição. Com esta alteração, comparando com o valor de ruído obtido em dia normal como realizado no quadro 5.13, obtém-se assim uma diferença de 6,4 dB, a qual está mais perto da variação média. Assim, daqui para a frente nesta dissertação, os níveis sonoros dos pontos 6 e 9 considerados serão os correspondentes à segunda medição. Corrige-se de seguida a representação gráfica dos pontos (Fig. 5.40).

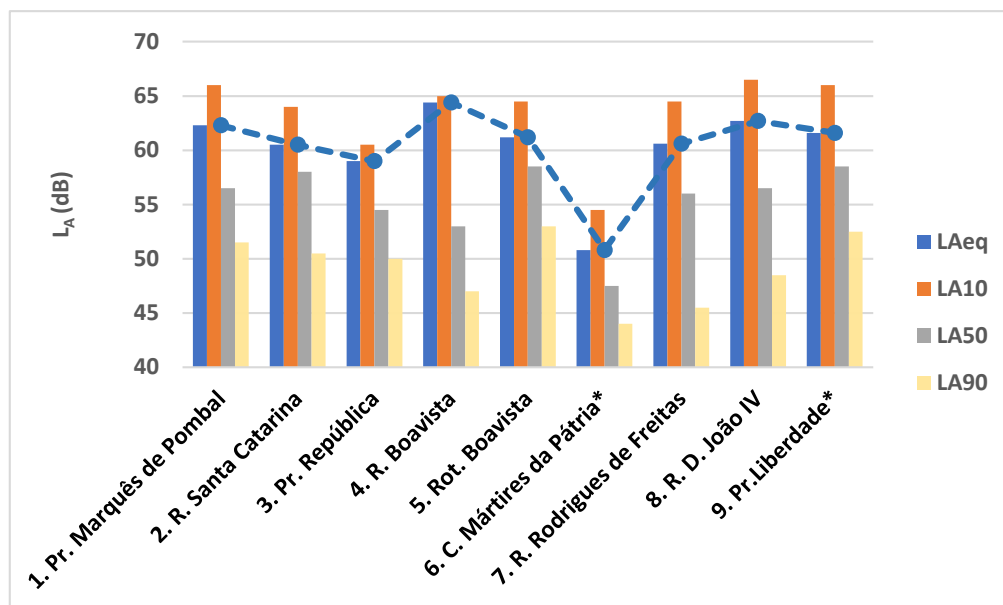


Figura 5.40 - Valores dos níveis sonoros obtidos em 21/11/2020 nos pontos de amostragem designados de 1 a 9, na cidade do Porto, durante confinamento com recolher obrigatório a partir das 13 h (*Pontos com valores da segunda medição realizado a 22 de novembro 2020).

Analisando os valores obtidos, com base no parâmetro do nível sonoro equivalente, o ponto mais ruidoso nesta situação situa-se na Rua da Boavista (ponto 4) com um valor de 64,4 dB(A) enquanto que o ponto mais sossegado é o Campo Mártires da Pátria (ponto 6) apresentando um valor de 50,8 dB(A).

O ponto 4 (Rua da Boavista), é uma rua com importância uma vez que liga diretamente o centro da cidade do Porto à Boavista. Durante o confinamento esta rua demonstrava a presença de tráfego rodoviário, no entanto bastante reduzido, verificando-se principalmente veículos de entregas ao domicílio. O nível sonoro é mais elevado neste ponto possivelmente devido à morfologia da paisagem urbanística. Tanto este ponto como o segundo ponto com nível de ruído superior (ponto 7 - Rua D. João IV) trata-se de ruas pequenas em largura, com apenas uma ou duas vias de trânsito, em que o horizonte ao redor dos pontos de medição são maioritariamente edificações de 2 a 4 andares. Esta organização paisagística provoca uma reflexão das ondas sonoras emitidas nessas ruas, potenciando a propagação dos ruídos provocados.

Em relação ao ponto mais silencioso da cidade, o ponto 6 (Campo Mártires da Pátria), como demonstrado na descrição do local, trata-se de um ponto para circulação pedestre com um jardim em frente e com uma via de trânsito rodoviário relativamente afastada do ponto de amostragem. Este é um ponto de grande interesse uma vez que é um ponto localizado exatamente no centro histórico da cidade e no entanto acaba por representar o “silêncio” que é possível na mesma. No local não foi detetada nenhuma fonte de ruído perceptível, pelo que o nível sonoro registado é próximo do ruído natural. O facto de neste ponto terem sido realizadas duas medições de ruído em dias de confinamento diferentes e os resultados obtidos serem praticamente iguais, fundamenta a premissa de se tratar de um ponto de referência para o “silêncio” na cidade do Porto.

Analisando o parâmetro L_{A90} pode-se verificar que foram registados valores de ruído relativamente bons para a cidade. Os valores que são excedidos em 90% do tempo nestes pontos assumem valores entre 45 e 53 dB. Em análise ao ΔL_A presente no quadro 5.13, nota-se que existe uma grande diferença entre os valores mais altos (ruído de pico) e os valores mais baixos (ruído de fundo). Estes valores dão a informação de que há um grande aumento incomodativo sobre o ruído de fundo, que neste caso em

particular pode ser denominado como o “ruído no silêncio” em cada ponto da cidade. É de salientar que, o nível sonoro equivalente do ponto de referência para o silêncio na cidade (ponto 6) é menor do que os níveis de ruídos de fundo de três pontos (1, 5 e 9).

5.3.3. O RUÍDO EM 2020: DIA NORMAL VS DIA DE CONFINAMENTO

Fazendo uma análise aos dois conjuntos de valores registados em 2020, normal e confinamento consegue-se retirar algumas informações importantes. É realizada uma comparação entre os níveis sonoros equivalentes medidos em dia normal e em dia de confinamento (Fig. 5.41 e 5.42).

Analisando os pontos estudados em dia normal, os locais identificados com ruído mais elevado situam-se na Rua da Boavista (ponto 4) e na Rua Rodrigues de Freitas (ponto 7). Em comparação com os dados do ruído em dia de confinamento, houve algumas mudanças. A Rua da Boavista, como visto anteriormente, diminuiu o nível sonoro em 4,7 dB(A), no entanto tornou-se o ponto mais ruidoso uma vez que o ponto da Rua Rodrigues de Freitas, que era o ponto mais ruidoso em dia normal, diminuiu o ruído em 8,6 dB(A) tornando-se num dos pontos com nível sonoro menor. O local de Campo Mártires da Pátria (ponto 6) é o ponto menos ruidoso em ambas as condições, no entanto este apresenta uma grande diferença no nível sonoro. Neste ponto verifica-se uma diferença de 10,3 dB(A), sendo que é a maior alteração de ruído de todos os pontos.

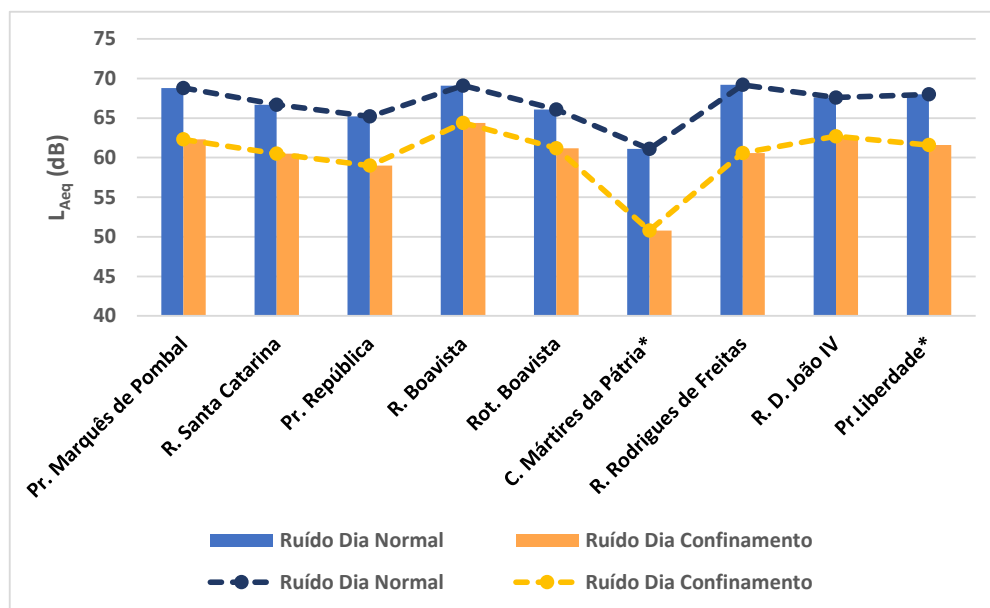


Figura 5.41 - Comparação dos valores de ruído medidos em dia normal e em dia de confinamento.

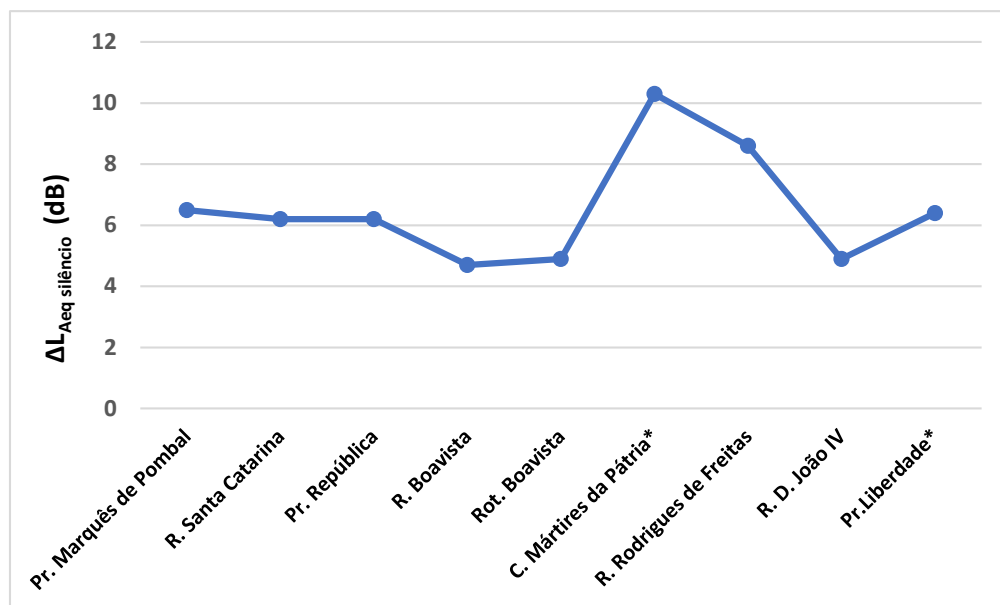


Figura 5.42 - Diferença de valores de níveis sonoros equivalentes entre dia “normal” e dia de confinamento ($\Delta L_{Aeq} \text{ silêncio} = L_{Aeq} \text{ normal} - L_{Aeq} \text{ confinamento}$).

É possível afirmar que durante o confinamento houve uma diminuição geral do ruído na cidade. Analisando as diferenças entre os valores de L_{Aeq} das duas situações, houve reduções de ruído entre 5 e 10 dB, sendo que, em média entre todos os pontos houve uma diferença de 6,5 dB. Esta diminuição é bastante considerável uma vez que em Acústica, haver uma diferença de 6 dB entre ruídos, significa que, um ruído é energeticamente quatro vezes superior que outro. Logo, aplicando ao presente caso, o ruído geral em dia normal na cidade do Porto é energeticamente quatro vezes “superior” ao ruído detetado em dia de confinamento.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÃO

A presente dissertação permitiu realizar uma análise ao ruído na cidade do Porto em 2020 e à sua evolução nos últimos trinta anos, através da avaliação de medições de níveis de ruído, utilizando diferentes parâmetros acústicos. Foi ainda possível analisar a diferença de ruído na cidade em dias de contexto diferente a nível de atividade, cuja disparidade foi provocada pelo confinamento social obrigatório decretado pelo governo português em 2020 devido à pandemia originada pelo COVID-19.

No caso de estudo da evolução do ruído na cidade do Porto em trinta anos, verifica-se que o ruído na cidade reduziu em média, cerca de 2,3 dB(A).

Durante este período de tempo, a redução de ruído não é contínua, sendo que entre 1990 e 1998 houve um crescimento de ruído. Este aumento, é possivelmente justificado devido à melhoria de vida da população portuguesa, aumento de opção de compra, aumento da população, melhoramento de serviços, entre outros fatores. Se analisarmos a evolução do ruído entre este aumento em 1998 e os valores obtidos em 2020, obtém-se um decréscimo de ruído mais acentuado que o anterior, tomando um valor de redução de ruído de cerca de 3,8 dB(A). Pode-se assim afirmar, que nos últimos vinte e dois anos ocorreu uma diminuição dos valores energéticos de ruído em mais de metade.

Foram analisados nove pontos da cidade do Porto, os quais todos se localizam em zona mista, o que de acordo com o RGR é imposto um limite máximo de nível sonoro equivalente em período diurno-entardecer-diurno de 65 dB(A). Oito dos nove pontos em que foram realizadas medições ultrapassam este valor estipulado. Apesar das medições realizadas apenas serem uma amostra de ruído e não transmitirem corretamente o valor de L_{den} , estas permitem obter uma ideia do estado acústico da cidade. Os valores obtidos demonstram assim, que a cidade apresenta locais potencialmente ruidosos podendo comprometer o bem-estar da cidade.

O local mais ruidoso detetado foi na Avenida Rodrigues de Freitas (ponto 7) com 69,2 dB(A) e o local mais silencioso o Campo Mártires da Pátria (ponto 6) com 61,1 dB(A).

Nos pontos estudados, o tráfego rodoviário foi um fator chave para os níveis de ruído detetados. Ao longo do estudo *in situ* foi evidente que a passagem de veículos e a existência de um fluxo de carros constante afetava diretamente os valores registados pelo sonómetro. Os pontos em que o ruído foi comparativamente superior, incluído o ponto 7, são locais com grande tráfego rodoviário constante, cruciais para a circulação na cidade.

Por outro lado, o Campo Mártires da Pátria (ponto 6) foi um ponto de grande interesse uma vez que este é um ponto que não tem via para trânsito rodoviário, sendo atualmente uma zona pedestre. Neste local em 1990 e 1998 existia uma estrada tornando este o ponto mais ruidoso nestes anos. No entanto, em

2020 este é o local onde foi medido o menor nível sonoro. Esta mudança de valores de nível sonoro, demonstra a potencialidade do efeito positivo que limitar o tráfego automóvel em algumas das ruas da cidade traria à população. Este local é agora uma zona pedestre com acesso ao Jardim da Cordoaria, um local utilizado para convívio, repouso e lazer.

Por análise à diferença de ruído entre o ponto Campo Mártires da Pátria e os restantes pontos, conclui-se que a presença de tráfego rodoviário nos restantes pontos provoca diferenças substanciais no nível sonoro equivalente registado, fazendo, em média, variar 6,5 dB(A). Isto significa que no geral, nos locais com presença tráfego rodoviário, o ruído é cerca de quatro vezes superior energeticamente do que no ponto 6. No entanto este aumento de ruído nos restantes locais não é uniforme, uma vez que fatores como a morfologia do local e a intensidade do tráfego influenciam os níveis sonoros emitidos em cada ponto. Os locais Praça da República (ponto 3) e Rotunda da Boavista/Praça de Mouzinho de Albuquerque (ponto 5) são os dois pontos que apresentam um nível sonoro mais baixo a seguir ao ponto 6. Os três locais têm em comum a presença de uma praça com jardim, a qual pode-se assumir aqui uma relação. Segundo os valores obtidos, pode-se concluir que a presença de uma praça com jardim aberto pode reduzir o nível sonoro propagado, apesar de os mesmos, por definição, não serem considerados barreiras acústicas. No entanto, estes valores mais baixos podem ser explicados devido ao facto que, havendo a presença de jardins e não de edificações, as ondas sonoras não sofrem tantas reflexões não aumentando assim a propagação do estímulo sonoro. O facto de a Praça Marquês de Pombal (ponto 1) ser um dos pontos com o nível sonoro mais alto e ser também uma praça com o jardim, é explicado com o facto de esta ter dimensões consideravelmente mais reduzidas que os anteriores, não provocando nenhum efeito relevante.

Numa análise final conclui-se que no geral, o ruído na cidade do Porto tem vindo a diminuir e tem tendência para continuar a diminuir no futuro, no entanto, é uma questão que necessita de mais estudos e mais atenção, uma vez ainda existem locais com níveis sonoros preocupantes para o bem-estar da população.

Em relação ao caso de estudo do ruído no “silêncio” da cidade do Porto devido ao confinamento provocado pelo COVID-19, nota-se que houve grandes diferenças nos níveis sonoros entre dia “normal” e dia de confinamento. Pode-se observar que, em relação aos valores obtidos em 2020 em dia “normal”, houve alterações no ponto mais ruidoso, no entanto o mais silencioso manteve-se o mesmo.

O local mais ruidoso em dia de confinamento situa-se na Rua da Boavista (ponto 4) com 64,4 dB(A) e o local mais silencioso no Campo Mártires da Pátria (ponto 6) com 50,8 dB(A).

Campo Mártires da Pátria é um local de grande interesse nesta dissertação. Mais uma vez, este é o ponto onde é detetado o menor nível sonoro de todos os pontos em estudo. Neste caso de estudo é possível afirmar que este ponto pode ser denominado como uma referência para o “silêncio” possível na cidade do Porto. Neste ponto, em dia “normal” foi medido um L_{Aeq} de 61,1 dB enquanto que em dia de confinamento mediu-se um nível de 50,8 dB, obtendo assim uma diferença de 10,8 dB(A).

A Avenida Rodrigues de Freitas (ponto 7), na medição realizada em dia normal era o ponto mais ruidoso da cidade com 69,2 dB(A). O mesmo ponto em dia de confinamento teve uma alteração considerável a nível do ambiente sonoro, uma vez que, o nível sonoro medido foi de 60,6 dB(A), sendo notável uma diferença de 8,6 dB(A) mudando por completo o ruído ambiente do local. Esta informação permite concluir que, mesmo um local que normalmente tem um nível sonoro preocupante, através de medidas de controlo, é possível transformar o ambiente sonoro do local a um nível aceitável e abaixo do limite imposto pela legislação em função do bem-estar da população e da cidade.

Durante os dias de confinamento houve uma clara diminuição dos níveis sonoros por toda a cidade. A variação do L_{Aeq} entre o dia “normal” e o dia de confinamento está compreendida entre aproximadamente 5 e 10 dB(A), sendo que a média da mesma é de cerca de 6,5 dB(A). Pode-se assim concluir que, no dia a dia “normal” na cidade do Porto o ruído que é emitido é energeticamente quatro vezes “superior” que o ruído em dia de confinamento, isto é, do que o ruído no “silêncio” da cidade.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No desenvolver desta dissertação, foram encontrados aspetos que não foram possíveis de estudar, mas que, seriam de grande interesse serem investigados e realizados, num desenvolvimento futuro. Diferentes estudos e diferentes pontos de vista são necessários para complementar as informações sobre o ruído na cidade do Porto.

Seria de grande interesse num desenvolvimento futuro sobre o ruído no Porto, para além da utilização dos parâmetros medidos, medir principalmente os indicadores de nível sonoro em período diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e em período noturno (L_n). Com o estudo destes parâmetros consegue-se ter uma maior perceção do ruído emitido diariamente na cidade. Para além disso, permite realizar uma melhor avaliação legal, uma vez que os limites legislados são apresentados com base nestes dois indicadores. O estudo da evolução destes parâmetros permitia ainda uma melhor concordância entre resultados, uma vez que seriam sempre medidos em períodos de tempo iguais.

Um dos pontos de estudo que seria interessante introduzir, é a influencia do tráfego automóvel nos pontos. Ao longo do trabalho foi detetado que tráfego automóvel é uma das principais fontes de ruído na cidade e que uma redução do mesmo altera o panorama acústico da cidade. Fazer um registo do volume de tráfego automóvel (contagem do número de veículos e de que tipo), pode permitir uma melhor perceção do efeito deste em cada ponto.

Outro ponto com interesse científico, seria a análise da influência das estações do ano nos níveis de ruído medidos. No presente trabalho, em 2020, as medições foram realizadas a meio do outono, no entanto, por outro lado, em 2011 as mesmas foram realizadas na primavera. Num estudo sobre ruído na cidade do Porto, caracterizar as quatro estações pode ser interessante, uma vez que permite entender se o facto de terem sido realizadas medições em estações diferentes se alterou algum nível sonoro ou não e porquê.

Estudar o efeito da arquitetura paisagista na propagação do ruído também seria útil. Será que a existência de grandes praças com jardins realmente permite obter um nível sonoro mais reduzido quando em comparação com os pontos medido no meio das ruas e edificações? A criação de mais “praças verdes” podia ser uma solução para a redução de ruído na cidade?

Para além dos pontos que foram estudados neste trabalho, a introdução de novos pontos poderia ser útil para se entender melhor o panorama do ruído por toda a cidade. Zonas como as Antas, o Campo Alegre, Ribeira, entre outras, seriam interessantes para se fazer um registo acústico sendo estes pontos também cruciais para a atividade na cidade.

Seria interessante combinar um trabalho semelhante em pontos importantes de outras cidades portuguesas para se analisar se a diminuição de ruído é constante em todas as cidades de Portugal e quais são as principais diferenças de cidade para cidade.

O caso de estudo realizado em dia confinamento foi uma oportunidade que se espera que no futuro, não será tão fácil de se repetir. A recolha de mais dados teria sido ideal, no entanto o tempo para a realização da dissertação não o permitiu. Os dados obtidos são pioneiros neste temática na cidade do Porto,

esperando-se assim que num desenvolvimento futuro, os mesmos sejam utilizados para outros estudos de ruído e futuras comparações com o “silêncio” da cidade.

Espera-se que esta dissertação tenha permitido desenvolver uma reflexão sobre o tema, demonstrando que existe uma evolução constante no ambiente sonoro e que o mesmo é necessário ser constantemente estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gunaydin, A. S.; Yucekaya, M. - Evaluation of the history of cities in the context of spatial configuration to preview their future. *Sustainable Cities and Society*. V. 59. (2020).
- [2] Liu, G.; Yau, X.; Fan, Q. - Agglomeration centrality examination of cities: an urban transport perspective. *Sustainable Cities and Society*. Vol. 61. (2020). p. 102273.
- [3] Bąk, I.; Cheba, K.; Szczecińska, B. - The statistical analysis of road traffic in cities of Poland. *Transportation Research Procedia*. Vol. 39. (2019). p. 14-23.
- [4] Han, X. P.; Huang, X.; Liang, H.; Ma, S.; Gong, J. Y. - Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. *Environmental Pollution*. V. 233. (2018). p. 755-763.
- [5] Carvalho, A. P. O. Acústica Ambiental e de Edifícios. Edicao 8.13, FEUP, Porto. (2017).
- [6] Zambrano-Monserrate, M. A.; Ruano, M. A. - Does environmental noise affect housing rental prices in developing countries? Evidence from Ecuador. *Land Use Policy*. V. 87. (2019).
- [7] Noise - https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/noise-2/#_ftn1 acedido a 02/10/20.
- [8] Nações Unidas - World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Nova Iorque (2019).
- [9] Diretiva 2002/49/CE de 25 de junho de 2002. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Parlamento Europeu e do Conselho. (2002).
- [10] Números Históricos Porto voltou em 2017 a ganhar residentes após 40 anos de perdas que levaram 100 mil a deixar a cidade - <http://www.porto.pt/noticias/numeros-historicos-porto-voltou-em-2017-a-ganhar-residentes-apos-40-anos-de-perdas-que-levaram-100-mil-a-deixar-a-cidade> acedido a 06/10/20.
- [11] Sousa, H.; Timóteo, F. Porto – Cidade feita de ruído. A Surdez Inevitável. Jornal de Notícias (revista), p. 5-8. (1990).
- [12] Patrício, J. - Acústica de Edifícios. – 7ª ed., Engebook, Porto. (2018).
- [13] Propagação do Som - <http://www.fq.pt/som/propagacao-do-som> acedido a 13/10/2020.
- [14] Mateus, D. - Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído. FCTUC. (2008).
- [15] Bies, D. A.; Hansen, C. H. – Engineering Noise Control: Theory and Practice. – 4ªed, Spon Press, Nova Iorque. (2009).
- [16] Crocker, M. J. – Handbook of Noise and Vibration Control. – 1ªed, John Wiley & Sons, Inc. (2007).
- [17] Peris, E.; Fenech, B. - Associations and effect modification between transportation noise, self-reported response to noise and the wider determinants of health: A narrative synthesis of the literature. *Science of the Total Environment*. V.748. (2020).
- [18] *Transport and Main Roads Department*. – Transport Noise Management Code of Practice. Transport and Main Roads, Queensland. (2013).

- [19] Soares, F.; Freitas, E.; Cunha, C.; Silva, C.; Lamas, J.; Mouta, S. e Santos, J.A. - Traffic noise: Annoyance assessment of real and virtual sounds based on close proximity measurements. Transportation Research Part D. V.52. (2017).
- [20] Instituto do Ambiente. – O Ruído e a Cidade. Instituto do Ambiente, Lisboa. (2004).
- [21] Thompson, D. – Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control. – 1ª Ed, Elsevier. (2009).
- [22] Freitas, E. F.; Trábulo, L. – Desempenho de Barreiras Acústicas-dois métodos de avaliação. Universidade do Minho, N.º29. (2007).
- [23] Pais, B. C. – Tipologia de Barreiras Acústicas: prós e contras. Associação Portuguesa de Sinalização.
- [24] Avaliação e Gestão do Ruído Ambiental. - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l21180&from=EN> acedido a 26/10/2020.
- [25] Ruído. - <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=86> acedido a 26/10/2020.
- [26] Lei n.º 11/87 de 7 de abril. Assembleia da República, 1.ª série - N.º81. (1987).
- [27] Decreto-lei n.º 146/2006 de 31 de julho. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República, 1.ª série – N.º146. (2006).
- [28] Decreto-lei n.º 136-A/2019 de 6 de setembro. Presidência do Conselho de Ministros, Diário da República, 1.ª série – N.º171. (2019).
- [29] Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de janeiro. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República, 1.ª série – N.º12. (2007).
- [30] Decreto-lei n.º 278/2007 de 1 de agosto. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República, 1.ª série – N.º147. (2007).
- [31] Björkman, M. e Rylander, R. - Maximum Noise Levels In City Traffic. – *Journal of Sound and Vibration.* V.205. (1997).
- [32] Morillas, J. M. B.; Escobar, V. G.; Sierra, J. A. M.; Gómez, R. V. e Carmona, J. T. – An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. – *Applied Acoustics.* V.63. (2002).
- [33] Piccolo, A.; Plutino, D. e Cannistraro, G. – Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. – *Applied Acoustics.* V.66. (2005).
- [34] Čurović, L.; Jeram, S.; Murovec, J.; Novaković, T.; Rupnik, K. e Prezelj, J. - Impact of COVID-19 on environmental noise emitted from the port. – *Science of the Total Environment.* V.756 (2021).
- [35] Rumpler, R.; Venkataraman, S. e Göransson, P. - An observation of the impact of CoViD-19 recommendation measures monitored through urban noise levels in central Stockholm, Sweden. – *Sustainable Cities and Society.* V.63. (2020).
- [36] Carvalho, A. P. O. e Rocha, C. – Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído. Agência Portuguesa do Ambiente, (2008).
- [37] Planeamento Estratégico da Gestão do Ruído. - <https://www.cm-porto.pt/gestao-de-ruído/> acedido a 03/11/2020.

- [38] NP EN 45020:2009 - Normalização e actividades correlacionadas - Vocabulário geral. (ISO/IEC Guia 2:2004). Instituto Português da Qualidade. (2009).
- [39] ISO - <https://www.iso.org/about-us.html#0> acedido a 10/11/2020.
- [40] Agência Portuguesa do Ambiente. Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa. (2020).
- [41] Agência Portuguesa do Ambiente. Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa. (2011).
- [42] NP ISO 1996 -1. Acústica – Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente – Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação. Instituto Português da Qualidade. (2011).
- [43] International Standard - IEC 61672-1. International Electrotechnical Commission, 1.^a ed. (2002).
- [44] Antunes, S. Curso sobre Aspectos Regulamentares e Normativos do Domínio do Ruído e das Vibrações. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. (2000).
- [45] Calibrador Sonoro B&K tipo4231 - <http://www.specman.pt/assets/4231.pdf> acedido a 20/11/2020.
- [46] Get Started With Your Sound Level Meter - <https://www.bksv.com/pt-BR/Knowledge-center/blog/articles/sound/getting-started-sound-level-meter> acedido a 20/11/2020.
- [47] Eletrônica de Potência - <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica-de-potencia/15199-curso-de-eletronica-de-potencia-parte-1-unidades-energia-cur3001.html> acedido a 22/11/2020.
- [48] Brüel & Kjær. Precision Integrating Sound Level Meter. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum. (1994).
- [49] Google Earth - <https://earth.google.com/web/> acedido a 25/11/2020.
- [50] IPMA - <http://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie/> acedido a 17/11/2020.
- [51] Regulamento do Plano Director Municipal do Porto - Diário da República – 2º Série- Nº 207. (2012).
- [52] Rua de Santa Catarina, Porto - <https://www.europeanbestdestinations.com/travel-guide/porto/rua-santa-catarina-porto/> acedido a 26/11/2020.
- [53] Praça Mouzinho de Albuquerque - <http://www.helloguideoporto.com/pt/a-visitar/jardins-parques/praca-de-mouzinho-de-albuquerque> acedido a 26/11/2020.
- [54] Praça da Liberdade - <https://www.tudosobreporto.com/praca-liberdade> acedido a 27/11/2020.

[55] Avenida dos Aliados e Praça da Liberdade unidas por piso de granito escuro - <https://www.publico.pt/2005/03/15/jornal/avenida-dos-aliados-e-praca--da-liberdade-unidas--por-piso-de-granito-escuro-11265> acedido a 27/11/2020.

[56] Jesus, R. A. F. – Ruído na Cidade do Porto: A evolução em duas décadas. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (2011).